ÉCOLE PRINCIPALE DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE

COURS DE PHYSIQUE MÉDICALE

PROFESSÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE BORDEAUX

PAR

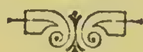
J. BERGONIÉ

PROFESSEUR DE PHYSIQUE MÉDICALE

CHALEUR

ET

THERMODYNAMIQUE ANIMALES



BORDEAUX

1901

311223



COURS DE CHALEUR

Première Leçon

De l'énergie chez l'être vivant

L'être vivant, animal ou végétal, est le siège d'un grand nombre de réactions chimiques à la suite desquelles on voit apparaître chez lui des phénomènes physiques de divers ordres, mécaniques, calorifiques, électriques, lumineux, et il existe entre ces divers phénomènes une relation de cause à effet. Les réactions chimiques qui s'effectuent dans l'organisme sont la source de l'énergie qui doit se manifester ultérieurement chez l'être vivant sous les diverses formes que nous venons d'indiquer.

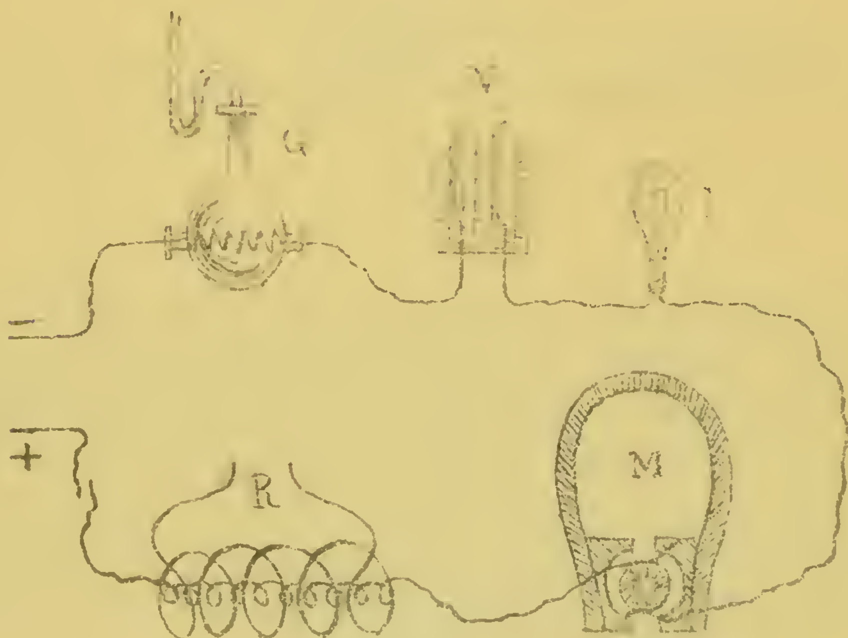
L'énergie calorifique et mécanique sont les formes que l'on rencontre ordinairement chez les animaux supérieurs, néanmoins, dans certains cas et chez certaines espèces on peut observer des manifestations électriques ou lumineuses.

La torpille, que l'on rencontre sur les côtes de l'Atlantique, dépense très peu d'énergie mécanique ; elle reste tapie sur le sable et ne remue ses branchies que pour faire circuler autour d'elle l'eau nécessaire à sa respiration. Elle ne produit pas non plus de cha-

leur car sa température est égale à celle du milieu ambiant. En revanche ce poisson peut produire de l'énergie électrique et il suffit de l'exciter pour recevoir une décharge considérable.

Chez un même individu, la forme de l'énergie qui apparaît dépend de l'organe dans lequel elle apparaît ; il suffit de changer cet organe pour que la forme de l'énergie change avec lui.

Des phénomènes analogues peuvent être réalisés au moyen de corps inertes et matériels. Un courant électrique, par exemple, peut servir à échauffer une masse gazeuse G, à électrolyser l'eau d'un voltamètre V, à illuminer une lampe à incandescence I, à mettre en mouvement un moteur M, à produire des étincelles au moyen d'une bobine de Ruhmkorff R. Dans cette expérience le même courant agissant sur des organes différents produit des phénomènes différents.



De telles transformations peuvent se produire chez l'être vivant; les combustions organiques effectuées dans l'intérieur des tissus produisent de la chaleur dans l'organisme entier, du travail mécanique dans les muscles des animaux, de l'électricité chez la torpille, de la lumière chez certains insectes. On pourrait classer les êtres vivants au point de vue physiologique d'après la quantité totale d'énergie qu'ils peuvent dépenser dans l'unité de temps, quan-

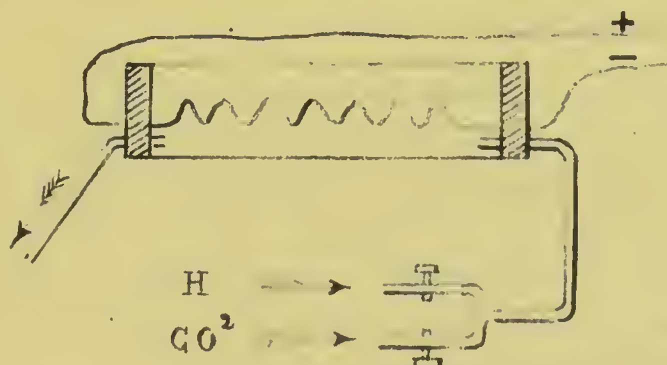
tité qu'on peut appeler *la puissance vitale* de l'animal; une pareille classification correspond exactement à une classification morphologique.

Chez l'animal, cette puissance vitale n'est jamais nulle; de l'énergie actuelle apparaît toujours en lui, quelle qu'en soit la forme pendant toute la durée de son existence. Le végétal, au contraire, accumule de l'énergie potentielle en emmagasinant dans ses tissus un grand nombre de corps provenant des réductions effectuées sous l'influence des rayons solaires.

Il est très important de mesurer l'énergie libérée chez l'homme et chez les animaux supérieurs sous forme de chaleur et de travail mécanique ; pour cela il faut d'abord mesurer leur température.

Considérons une source constante de chaleur placée dans un milieu à température constante ; le milieu lui empruntera de la chaleur par rayonnement, par conductibilité, par évaporation ; si ces causes de déperdition restent constantes un certain régime s'établira, il y aura équilibre entre la quantité de chaleur fournie par la source et celle absorbée par le milieu ambiant ; la température de la source devra alors rester constante. Si l'état du milieu ambiant est modifié, les conditions de déperdition changeront aussi et la température de la source prendra une autre valeur.

On peut réaliser expérimentalement ce phénomène : Une spirale de platine plongée dans une atmosphère de gaz acide carbonique étant portée au rouge par un courant électrique d'intensité convenable, il suffira de remplacer l'atmosphère d'acide carbonique par de l'hydrogène dont la conductibilité est beaucoup plus grande



pour que la température de la spirale diminue et que son incandescence disparaisse.

Chez l'animal vivant considéré comme source de chaleur les mêmes phénomènes ont lieu dans certains cas ; les conditions du milieu changent-elles, la température de l'animal plongé dans ce milieu varie ; un tel animal est dit *animal à température variable* ou *poikilotherme*.

Quelquefois, au contraire, les conditions du milieu dans lequel l'animal est plongé ont beau varier, l'animal conserve sa même température. C'est parce qu'il existe en lui un régulateur thermique proportionnant exactement la production de chaleur à la dépense ; ce régulateur n'est autre que son système nerveux ; on donne à ces animaux le nom d'*animaux à température constante* ou *homœothermes*. Dans l'expérience précédente on peut réaliser l'incandescence du fil de platine dans l'hydrogène en se servant d'un fil électrique, analogue au système nerveux de l'animal, et qui augmente la quantité de chaleur développée dans le fil en augmentant l'intensité du courant.

Il est à remarquer que chez les animaux à régulation parfaite la température maintenue par le système nerveux est peu variable avec ces divers animaux. Elle est toujours voisine de 40° centigrades, température reconnue expérimentalement comme très favorable aux réactions chimiques ayant les allures de fermentations qui se passent au sein de leur organisme. Il en résulte pour ces animaux une activité vitale très intense qui en fait des sources de chaleur à grand débit et des producteurs énergiques de travail mécanique, qualités qui leur assignent au point de vue physiologique le même rang élevé qu'ils occupent, aupoint de vue morphologique, dans l'échelle des êtres.

Les animaux à température constante sont quelquefois appelés *animaux à sang chaud*, les autres *animaux à sang froid*. Ces dénominations sont incorrectes et inexactes d'abord parce que les mots chaud et froid n'ont pas de signification scientifique précise, ensuite parce que la grenouille, par exemple, qui est un animal à sang froid vit très bien dans de l'eau à 38° et devrait par conséquent être appelée animal à sang chaud.

Aux deux classes que nous venons d'étudier on doit ajouter une classe intermédiaire, celle des *animaux hibernants*, chez lesquels

la régulation de la température est parfaite tant que la température du milieu où ils vivent ne descend pas au-dessous d'une certaine limite ; cette limite dépassée ils tombent dans un état de *sommeil* pendant lequel leurs combustions internes sont très restreintes, leur activité presque nulle et leur température très inférieure à leur température normale. La régulation de la température est donc *intermittente* chez eux. Parmi ces animaux, peu nombreux, on peut citer l'ours brun, la marmotte, le hérisson, la chauve souris, etc.

Mesure des températures

La température d'un animal est une de ses plus importantes constantes physiologiques. La mesure des températures peut être effectuée au moyen de deux séries d'appareils :

1° Les thermomètres ;

2° Les appareils thermoélectriques.

Nous allons les étudier successivement.

Thermomètres

Un thermomètre médical se compose essentiellement d'un tube capillaire et d'un réservoir en verre, soudés ensemble et remplis de mercure. La dilatation plus ou moins grande de la colonne de mercure ainsi renfermée indique, au moyen d'une graduation spéciale, la température de l'appareil et du milieu ambiant.

En France et dans les pays latins ces appareils sont gradués en

degrés centigrades. Plongés dans la glace fondante ils marquent 0.; dans la vapeur d'eau à 760^{mm} de pression ils marquent 100. Le degré centigrade est la centième partie de l'intervalle qui sépare ces deux points de repère.

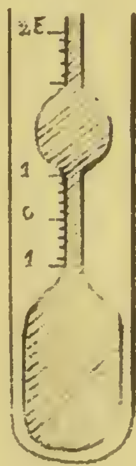
En Angleterre et aux Etats-Unis les thermomètres sont gradués en degrés Fahrenheit. Dans la glace fondante ils marquent 32°.; dans la vapeur d'eau bouillante ils marquent 212°.

Il résulte de la comparaison de ces échelles que la température physiologique de l'homme, qui est de 37^{c} est de 66^{F}.

Les traits de la graduation sont tantôt tracés sur la tige elle-même du thermomètre, tantôt sur une règle en papier, en ivoire ou en émail, invariablement accolée à la tige.

Les thermomètres médicaux sont à échelle fractionnée ; ils ne contiennent pas toute l'échelle mais seulement la partie utile aux médecins et aux physiologistes comprise entre 25° et 45°. Cette disposition présente un inconvénient ; elle rend impossible la vérification des points 0^{c} et 100^{c}.

Il existe cependant des thermomètres médicaux à échelle fractionnée ayant leur point 0. Ils contiennent au-dessus de ce point une petite ampoule soufflée sur le tube capillaire et qui se remplit de liquide lorsque la température de l'appareil s'élève au-dessus de 0 jusqu'au voisinage de 20°. Ces thermomètres ont le grand avantage de permettre à tout instant la correction *du déplacement du zéro* due, comme on sait, à ce que le verre, fortement trempé au moment du soufflage de l'ampoule et de son refroidissement brusque, se rétracte peu à peu et d'une façon très lente. Pour faire cette correction il suffit de plonger l'appareil dans un entonnoir rempli de glace fondante et de noter le point où se fixe le sommet de la colonne

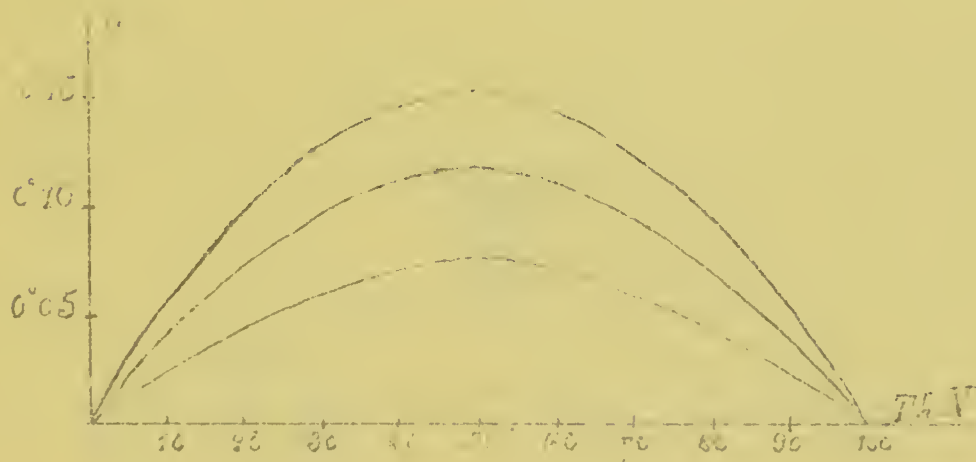


mercurielle. Le déplacement du zéro peut être assez notable et atteindre le chiffre de quelques degrés ; M. Crafts a signalé des appareils dans lesquels il atteignait le chiffre considérable de 26°. Dans les bons thermomètres il ne dépasse pas deux ou trois dixièmes de degré.



Une autre cause d'erreur, récemment signalée par le Bureau international des Poids et Mesures, est due à l'influence de la matière — verre ou cristal — qui constitue l'enveloppe thermométrique.

Les thermomètres que l'on trouve dans le commerce sont en *verre dur*, en *cristal ordinaire* ou en *cristal dur*. Si on compare à un thermomètre normal à l'hydrogène des thermomètres construits avec ces trois substances, on trouve que ces derniers, même



exacts à 0° et à 100° ne le sont pas aux températures intermédiaires. Les courbes ci-dessus dans lesquelles les indications du termomètre normal sont portées en abscisses et les erreurs en ordonnées montrent que l'erreur est toujours très faible pour le thermomètre en verre dur A, plus sensible pour celui en cristal dur B, et encore plus grande pour celui en cristal ordinaire C.

Le laboratoire de physique de la Faculté de médecine de Bordeaux a fait construire pour son usage des thermomètres en verre dur qui paraissent très exacts.

Il existe d'autres causes d'erreur qui nécessitent une vérification soignée de tout appareil destiné à donner des indications sérieuses, vérification à laquelle devraient être soumis tous les thermomètres employés en clinique.

En France la liberté de fabrication des thermomètres est absolue ; il n'en est pas de même ailleurs. En Allemagne tout fabricant de thermomètres doit les faire vérifier à l'Institut technique d'Iéna. En Angleterre un Institut analoge vient d'être créé à Kew sur la demande du prince de Galles. On raconte à ce sujet (1) « qu'étant » très malade il fut soigné tout de travers sur la foi d'un thermo- » mètre dont les indications étaient fausses de 2°. Il faillit en mou- » rir, mais aussitôt rétabli il s'occupa d'empêcher le retour de pa- » reilles erreurs. Depuis lors 5.000 thermomètres médicaux sont » annuellement vérifiés à Kew ».



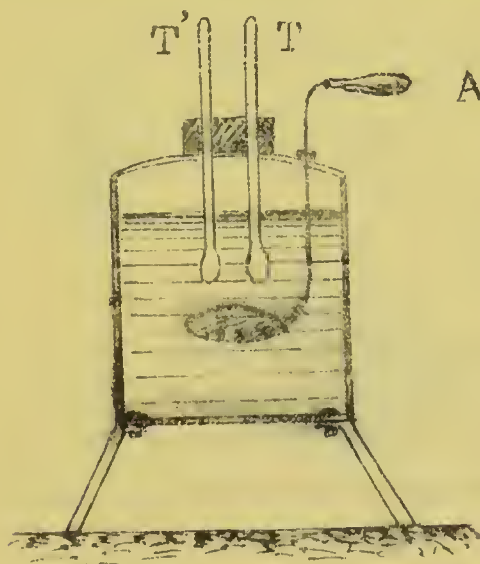
(1) Journal *La Nature* N° 1019-1892.

Deuxième Leçon

Thermomètre (*Suite*)

Les nombreuses causes d'erreur que nous avons signalées dans la précédente leçon nécessitent une vérification complète de tous les thermomètres médicaux. Cette vérification consiste dans la comparaison de chaque thermomètre avec un thermomètre *étalon* préalablement vérifié et dont on a déterminé le coefficient de correction ; elle se fait au moyen d'un instrument spécial appelé comparateur.

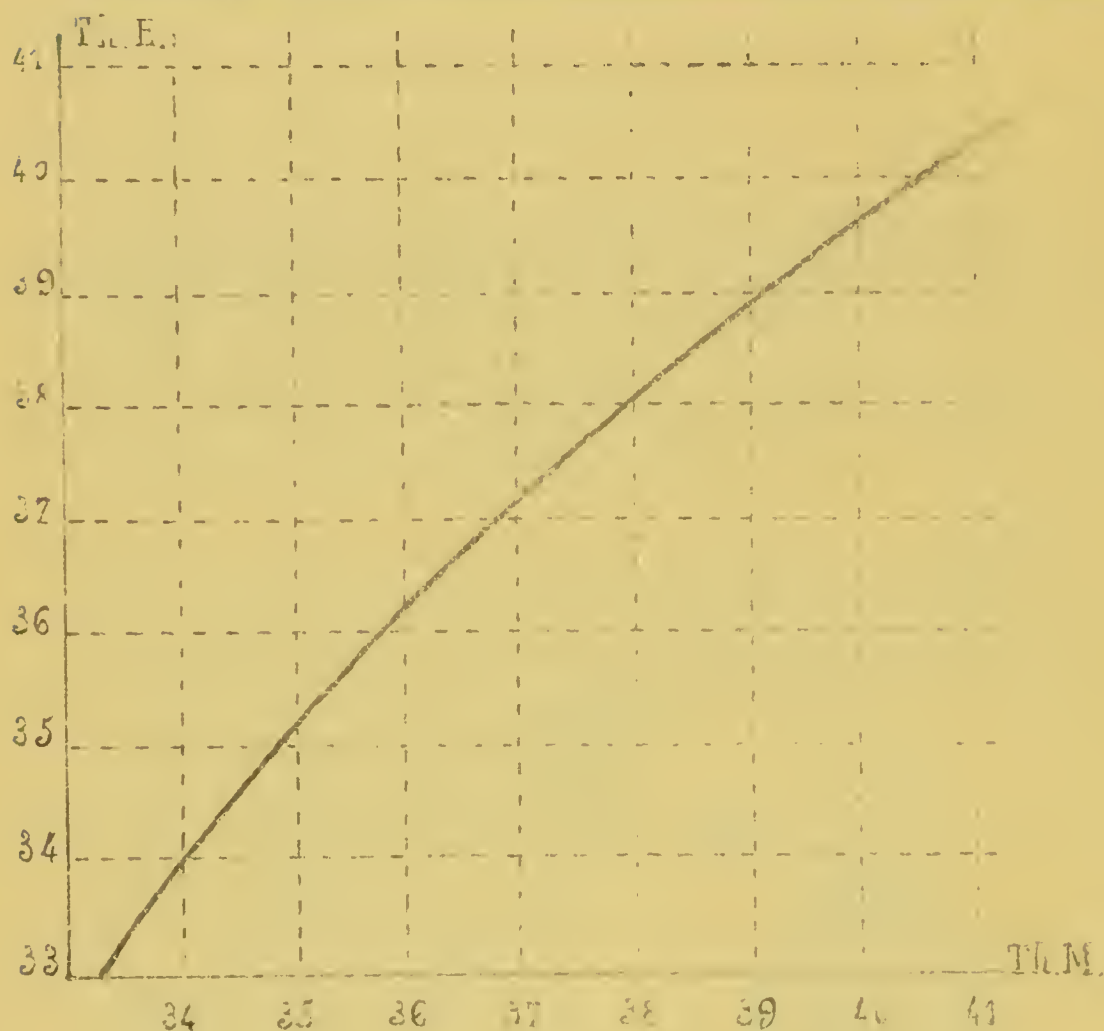
Comparateur. — C'est une marmite en laiton élevée sur trois pieds, que l'on peut remplir d'eau ou d'huile et qu'on peut chauffer au moyen d'un bec de gaz. Son couvercle est percé d'une large ouverture obturée par un bouchon dans lequel on fait passer le thermomètre médical et le thermomètre étalon. L'appareil est complété par un agitateur A qui permet d'agiter constamment le liquide.



Pour procéder à une comparaison on fixe les deux thermomètres dans le bouchon, leurs réservoirs se trouvant sur la même tranche horizontale du liquide. On chauffe lentement le comparateur jusqu'à la température minima à partir de

laquelle on veut effectuer la comparaison. Continuant alors à chauffer on fait plusieurs lectures des indications que donnent au même instant les thermomètres que l'on compare.

Pour traduire ces résultats par une courbe on trace deux axes rectangulaires sur une feuille de papier millimétrique et on y inscrit chaque série de lecture en portant en ordonnées l'indication du thermomètre étalon et en abcisses celle du thermomètre médical. On marque un point à la rencontre des deux lignes qui complètent le rectangle. Après avoir fait plusieurs lectures on peut ainsi construire plusieurs points qui, réunis par une ligne continue, forment une courbe appelée *courbe de vérification du thermomètre médical.*

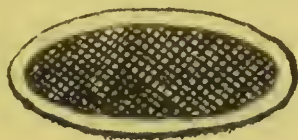


Cette courbe pourra servir à faire connaître la température vraie correspondante à l'indication donnée par le thermomètre médical qui a servi à la tracer.

Dans la courbe ci-jointe le thermomètre médical indique 40°5 lorsque la température vraie est 40°.

Sensibilité. — On peut exiger d'un thermomètre deux qualités bien distinctes : ou bien il indique une faible variation de température par un grand déplacement de la colonne liquide, ou bien il se met rapidement en équilibre de température avec le milieu ambiant. La première condition, condition de *précision*, sera réalisée si le réservoir contient une grande quantité de mercure ; l'autre, condition de *rapidité*, exige que le réservoir soit très petit. Ces deux conditions sont contradictoires. Pratiquement on donne aux réservoirs des thermomètres médicaux des dimensions telles qu'un observateur puisse lire facilement le 1/10e de degré et que le thermomètre se mette en équilibre de température avec le milieu ambiant en 10 ou 15 minutes.

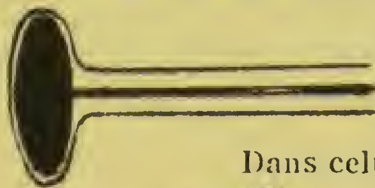
Dans les thermomètres cliniques la section du tube capillaire est très réduite ; pour rendre les lectures plus faciles on lui a donné la forme d'une ellipse très allongée dont le grand axe se projette sur la graduation.



Dans certains thermomètres utilisés en physiologie on peut évaluer le 1/20e et même le 1/50e de degré.

Thermomètres à températures locales. — Ce sont des appareils destinés à prendre la température d'un point donné du corps de l'homme et des animaux.

L'un des plus simples est le thermomètre à surface de *Seguin*. Son réservoir est aplati et peut s'appliquer sur une aussi large surface que possible.



Dans celui de *Burq* la cuvette est très allongée et est enroulée en spirale, ce qui lui donne une très grande surface de contact avec le corps dont on veut prendre la température. Une bande de caoutchouc permet de fixer ce thermomètre sur la partie du corps que l'on étudie.

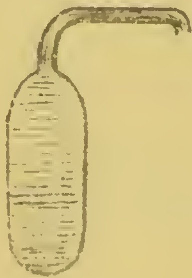


Le thermomètre de *Constantin Paul* ressemble au précédent ; son réservoir est situé au fond d'une petite ventouse en caoutchouc pouvant s'appliquer facilement sur l'endroit du corps que l'on a choisi.

Voisin a donné au réservoir de son thermomètre la forme d'un poinçon ; il a 3^{mm} de longueur et 1^{mm} 5 de diamètre. Il suffit de déprimer la peau pour que la cuvette disparaisse entièrement dans le pli ainsi fait. La capacité de la cuvette est très petite, le tube très capillaire et les lectures, très difficiles, ne peuvent être faites qu'au moyen d'une forte loupe.



Kronecker et Mayer se sont servis d'un thermomètre analogue au thermomètre à poids de Dulong et Petit. Pour évaluer la température centrale des animaux ils leur faisaient avaler cet appareil. On le plongeait ensuite dans de l'eau qu'on chauffait jusqu'à ce que le mercure vienne affleurer à l'extrémité de la tige et dont on mesurait directement la température au moment où cet affleurement se produisait.

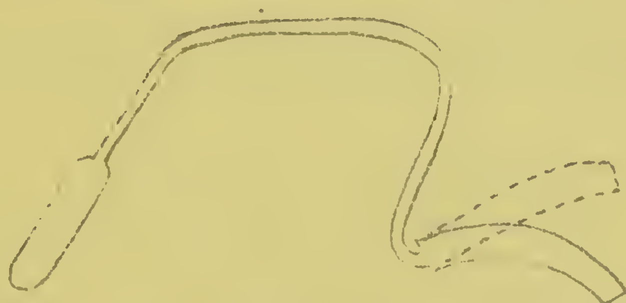


Ces dernières années *les professeurs Arnozan* et *Bergonié* se sont servis, pour prendre la température des collections purulentes qui se forment dans certains abcès, d'un thermomètre ordinaire dont le réservoir était placé dans un trocart et la tige enveloppée par une canule. On enfonçait cet appareil dans la plaie puis on retirait la canule et on faisait les lectures.



Les médecins et les physiologistes ont essayé de mesurer d'une façon continue des températures variables ; il faut utiliser dans ce cas des thermomètres inscripteurs ou *thermographes* ; ils sont peu

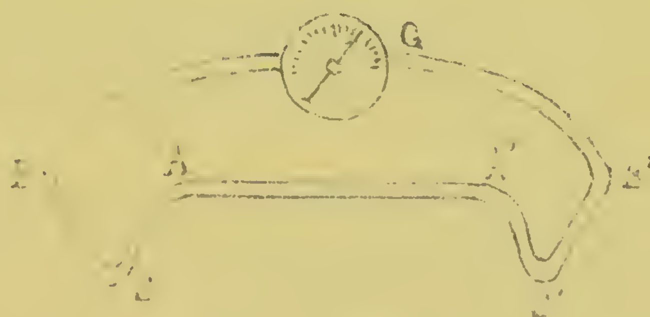
employés en clinique parce qu'ils sont très délicats et que leurs indications sont facilement faussées. M. Richard a construit, sur les indications du professeur agrégé Sigalas, un thermographe au moyen duquel il est très facile de prendre la température rectale des animaux et d'enregistrer leur variation. Il se compose d'un réservoir en argent réuni par un tube capillaire en cuivre à un réser-



voir aplati analogue à celui des manomètres Bourdon. Le tout est rempli d'alcool. Lorsque l'alcool se dilate il redresse le réservoir récepteur, dont les mouvements amplifiés au moyen d'un levier, viennent s'inscrire sur une feuille de papier enroulée sur un tambour qui tourne d'un mouvement uniforme. On obtient ainsi la courbe des variations de température.

Appareils thermo-électriques

La mesure des températures au moyen de ces appareils repose sur le principe suivant: Si on constitue un circuit fermé en soudant en S et S' deux métaux différents AA', BB', il suffira d'établir une



différence de température entre les soudures S et S' pour établir

également entre ces deux points une certaine différence de potentiel dont l'existence sera indiquée par un courant qui se propagera dans le circuit et qui déviera l'aiguille du galvanomètre G.

Soient t et t' les températures des deux soudures, la force électromotrice développée E dépendra de $t-t'$, et, dans certaines limites, lui sera proportionnelle. On pourra par conséquent écrire :

$$E = K\ (t-t') \qquad (1)$$

K étant un coefficient constant, dans les limites où nous nous plaçons, pour les métaux qui constituent le couple thermo-électrique employé.

Si dans la formule (1) on fait $t-t' = 1^o$, on aura :

$$E = K \qquad (2)$$

ceci veut dire que K est la force électromotrice engendrée dans le circuit par une différence de température de 1° établie entre les soudures. C'est le *pouvoir thermo-électrique* du couple.

Il est avantageux de choisir deux métaux dont le pouvoir thermo-électrique soit aussi grand que possible. Ce nombre est toujours très petit et de l'ordre de quelques micro-volts. Pour le couple bismuth-antimoine, on a comme valeur moyenne de K entre 0° et 100°

$$K = 0 \text{ volt } 000057 \qquad (3)$$

L'équation (1) montre qu'on peut déduire la différence de température $t-t'$ de la connaissance de E et de K. Les appareils thermo-électriques sont donc des thermomètres différentiels analogues à ceux de Leslie et de Rumford.

Pour évaluer une différence de températures il faut donc posséder les valeurs de E et de K.

Mesure de E. — On peut mesurer directement E au moyen d'un électromètre. Il est préférable d'intercaler un galvanomètre dans le circuit et de noter l'intensité I du courant qui le traverse. Soit R la résistance totale du circuit, on aura d'après la loi d'Ohm :

$$E = RI \qquad (4)$$

Mesure de K. — Il existe des tables dans lesquelles on trouve les valeurs de K pour tous les couples et à toutes les températures.

On ne pourra mesurer une température, t par exemple, avec cet appareil, que si l'autre température t' est connue et maintenue invariable.

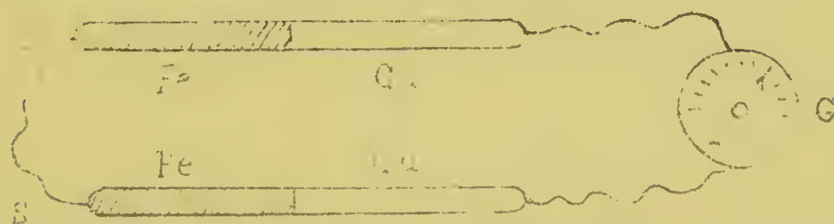
Au point de vue pratique, tout circuit thermo-électrique propre à donner des observations de température devra se composer de deux métaux ayant un pouvoir thermo-électrique aussi grand que possible et d'un galvanomètre dont la résistance intérieure sera aussi voisine que possible de celle du circuit dont il fait partie ; dans ces conditions, l'appareil sera très sensible.

Avant de se servir de l'appareil on devra l'étalonner de manière à déterminer quelle est la déviation de l'aiguille galvanométrique qui correspond à une différence donnée de températures. Pour cela on placera les soudures dans des récipients pleins d'eau dont les températures seront très exactement connues et on notera la déviation correspondante de l'aiguille du galvanomètre.

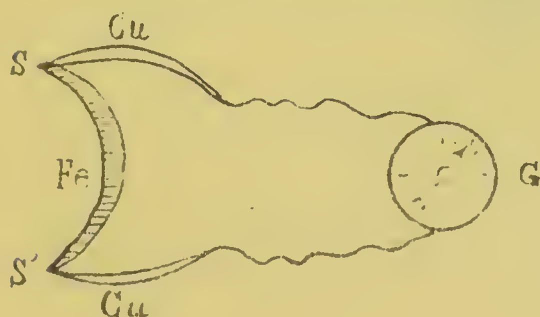
Les avantages de cette méthode sont nombreux. Tout d'abord les soudures employées peuvent être très petites ; elles emprunteront alors très peu de chaleur au milieu ambiant. Ensuite la sensibilité est presque illimitée et n'a pour limite que la sensibilité du galvanomètre. On obtient facilement le 1/100e de degré. Helmoltz a pu apprécier le 1/400e de degré.

Ces appareils sont ordinairement employés sous forme d'*aiguilles thermo-électriques*.

Les aiguilles à *soudure médiane de Becquerel* étaient formées par



des tiges de fer et de cuivre soudées bout à bout. L'inconvénient de ces aiguilles est que, pour introduire l'une des soudures au sein du tissu dont on voulait prendre la température, il fallait se livrer à une véritable opération chirurgicale.

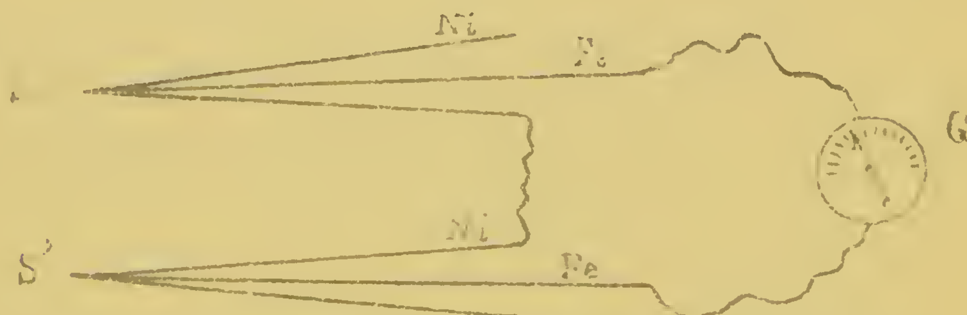


Les aiguilles à *soudure termino-latérale de Dutrochet* sont formées par un fil de fer recourbé et dont les extrémités sont soudées à des fils de cuivre. Elles ont l'inconvénient

de ne pas pouvoir servir à comparer les températures de deux points un peu éloignés l'un de l'autre.

Les aiguilles à *soudure concentrique et terminale de d'Arsonval* sont constituées par des tubes coniques en nickel à l'intérieur et au sommet desquels on a soudé une tige en fer. L'intervalle annulaire est rempli d'un vernis isolant. Le grand avantage de ces aiguilles est d'empêcher toute réaction chimique de se produire au niveau de la soudure sous l'influence des liquides de l'organisme perforé par l'aiguille.

Les aiguilles de *contact* ne sont autres que les aiguilles de Becquerel dont on a recourbé les tiges. Elles permettent de prendre très facilement la température de la peau.



Les *sondes* thermo-électriques de *Claude Bernard* sont des aiguilles longues et flexibles enduites d'une enveloppe en gomme imperméable et pouvant être facilement introduites dans les vaisseaux sanguins des animaux.





Troisième Leçon

Résultats

Nous diviserons les résultats obtenus en deux parties : ceux qui concernent les animaux homéothermes et ceux qui concernent les animaux poikilothermes.

Les homéothermes peuvent être groupés en classes distinctes ; en effet, quelques-uns, tels que les oiseaux, sont recouverts de plumage ; d'autres, tels que le chien, le lapin, etc., sont recouverts de fourrures, c'est-à-dire d'enveloppes mauvaises conductrices de la chaleur. Ce sont eux dont la température est la plus élevée. On a par exemple pour les oiseaux :

Température	rectale	du perroquet.	41°1
—	—	de l'oie.	41°7
—	—	du pigeon.	42°
—	—	du canard.	42°11

Ces nombres oscillent comme on le voit autour de 42°

Les mammifères protégés par une fourrure ont, d'après les recherches les plus récentes, recherches qui ont porté sur un grand nombre d'individus, les températures suivantes :

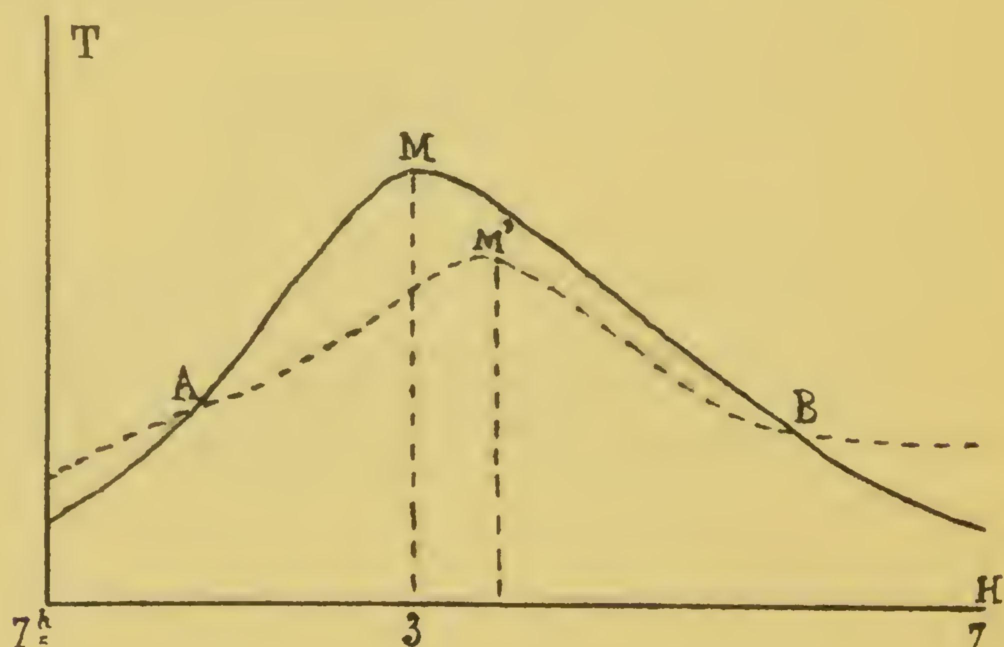
Température rectale	du chien.	39°2
— —	du lapin.	39°5
— —	du cobaye.	39°1
— —	du mouton.	39°7
— —	du veau.	39°5
— —	du bœuf.	39°7
— —	du singe.	38°1
— —	du cheval.	37°7

Si on fait la moyenne des températures de ces animaux homéothermes pourvus de fourrure, on trouve qu'elle oscille autour de 39°.

Le porc qui n'a pas de fourrure a une température rectale de 39°5 ; il semble que cet animal ne peut pas être rapproché des précédents, mais il faut remarquer qu'une épaisse couche de graisse tient lieu chez lui de fourrure. Il en est de même des cétacés qui vivent au milieu des mers glaciales et qui sont protégés contre les pertes par conductibilité par une épaisse couche adipeuse.

Les homéothermes à fourrure peu épaisse, le singe, le cheval, l'homme, produisent dans leur organisme autant de réactions chimiques que les précédents ; si leur température est moins élevée c'est parce qu'ils subissent une plus grande perte de chaleur et que, par suite, leur équilibre thermique s'établit plus bas.

Les animaux poikilothermes ont une activité vitale très affaiblie : au point de vue thermique ils sont assimilables à des corps inertes, mauvais conducteurs, placés dans le milieu ambiant.



Lorsqu'on observe la courbe inscrite par un thermomètre enregistreur exposé à l'air libre on voit que la courbe s'élève jusque vers trois heures de l'après-midi et qu'elle va ensuite en décroissant pour atteindre son minimum vers 6 ou 7 h. du matin. Dans la figure ci-contre cette courbe est représentée par un trait continu. Plaçons dans ce même milieu un corps inerte constitué par un ballon plein d'eau recouvert de feutre et à l'intérieur duquel plonge un thermomètre très sensible. Si nous lisons toutes les heures l'indication de l'appareil,nous verrons que le corps suit les oscillations du milieu qui l'entoure, mais avec un certain retard. Si on trace les variations de température de ce corps on obtient la courbe en pointillé de la figure précédente. Les températures coïncident en A, le maximum a lieu plus tard que dans l'expérience précédente et les deux courbes se coupent de nouveau en B.



L'animal dit « à sang froid » se comporte à peu près de la même façon ; il n'est cependant pas tout à fait assimilable au ballon que vous voyez,il en diffère en ce que lui-même est une source de chaleur mais une source très faible. Comment va se comporter cette faible source avec la nécessité d'obéir à la variation de température du milieu ambiant ? L'animal a une température un peu supérieure à celle de notre ballon ; sa courbe aura alors des ordonnées un peu plus hautes que celles du ballon mais lui sera parallèle.

Comme vous le voyez, il ne suffit pas de connaître la phase de la variation de la température ambiante pour connaître la température de l'animal. Si on considère la phase d'ascension de la courbe du milieu extérieur la température de l'animal est plus basse ; dans la phase de décroissance elle est un peu supérieure ; la phase de la température ambiante influe donc sur celle de l'animal poikilotherme.

On a vu dans une leçon précédente que la dénomination d'animaux à sang froid n'avait aucune portée scientifique : la température du boa constrictor atteint 41°2 pendant la période

d'incubation ; celle d'une ruche d'abeilles peut atteindre 41°. Si on considère la classe des helminthes on trouve des températures encore plus élevées : les helminthes des oiseaux, du chien, du porc ont des températures comprises entre 39° et 42°; leur température est plus élevée que celle des animaux dits à sang chaud.

Puisque les animaux à sang froid suivent la température du milieu nous ne devons pas trouver chez eux des températures bien différentes de celle du milieu extérieur.

En effet, la température des poissons, des grenouilles, diffère seulement de quelques dixièmes de degré de celle du milieu ambiant ; ces animaux obéissent donc presque complètement aux lois physiques qui régissent les variations de température des corps inertes, mauvais conducteurs.

Parmi les poikilothermes, les reptiles sont les plus élevés en organisation ; leur température dépasse de 4° à 7° celle du milieu qui les entoure. Ces animaux diffèrent des précédents en ce que la courbe de variation de leur température serait obtenue en transposant la courbe pointillée de 4° ou 5°.

Un animal à sang froid étant ainsi obligé de suivre les variations de la température ambiante, on peut prévoir ce qui arrivera lorsque chez un animal homéotherme les réactions chimiques auront diminué d'intensité ou lorsque la mort les aura complètement annulées. On n'aura plus affaire à une source de chaleur et le corps de l'animal suivra les variations du milieu extérieur comme un corps inerte.

C'est au Dr Bourneville que l'on doit d'avoir appliqué le thermomètre pour distinguer la mort apparente de la mort réelle. Il a pris la température rectale de plusieurs individus atteints de maladie inflammatoire et chez lesquels la température était supérieure de 10° à 15° à celle du milieu ambiant. Il a suivi cette température après la mort de chaque malade et il a reconnu que 16 ou 17 heures après la mort l'équilibre de température s'établit. A partir de ce moment la température rectale du cadavre s'élève en même temps que celle du milieu extérieur, mais avec une vitesse moindre. On obtient ainsi pour le cadavre la même courbe que pour le ballon inerte.

Il ne peut pas en être de même quand il se produit des réactions

vitales, aussi affaiblie que soit la vie d'un homme. La courbe obtenue dans ce cas dépasse de beaucoup celle du milieu extérieur.

Etude de la température de l'homme

De toutes les températures c'est celle qui nous intéresse le plus. On peut la mesurer en plaçant le thermomètre dans une cavité naturelle, bouche, rectum, vagin, mais on choisit habituellement le creux axilliaire. Pour prendre une température axilliaire il est nécessaire d'observer certaines précautions. Tout d'abord on doit se servir d'un thermomètre médical que l'on a soigneusement vérifié et dont on a construit la courbe de comparaison. On dessèche le creux de l'aisselle avec un linge bien sec ou avec du coton hydrophile, on introduit le réservoir thermométrique aussi profondément que possible, on rapproche le bras du thorax de façon à avoir un contact aussi étendu que possible, on ouvre la main du sujet et on l'appuie sur sa poitrine. Cette position doit être conservée pendant toute la durée de l'observation qui n'est pas inférieure à 15 minutes. Enfin on fait plusieurs lectures thermométriques.

La méthode appelée *per descensum*, consiste à faire dépasser, par un moyen artificiel, la température que l'on veut mesurer, puis à porter rapidement le thermomètre dans l'aisselle.

La température axilliaire de l'homme sain est de 37° en moyenne et on admet que toute température axilliaire comprise entre 36°5 et 37°5 est une température physiologique.

Variations physiologiques de la température de l'homme

Nous allons étudier successivement l'action du *froid*, du *chaud*, des *variations diurnes*, de *l'âge*, de la *race*, du *sexe*, du travail *musculaire* et *cérébral* sur la température physiologique.

Influence du froid. — Le froid n'a pas une très grande influence sur la température de l'homme et des animaux. Les capitaines Parry et Back, dans leurs voyages vers les régions polaires, ont affronté des températures inférieures à — 35°. Les animaux qui vivent dans ces régions, le renard arctique, le lièvre blanc, le loup, avaient des températures rectales de 39° à 40°, supérieures par conséquent de près de 80° à celle du milieu extérieur. Les animaux résistent à ces basses températures par leur fourrure, les voyageurs par leurs vêtements. Cette résistance à l'action du froid n'est pas infinie ; si on soutire brusquement à un animal une certaine quantité de chaleur, celui-ci ne peut pas la remplacer immédiatement et sa température baisse. Cependant, en dehors des influences antiphysiologiques, le froid n'a qu'une minime influence sur la température de l'homme et des animaux à régulation parfaite.

Influence du chaud. — Lorsqu'on étudie l'influence des températures élevées sur l'homme il y a deux cas à considérer : ou bien le milieu extérieur est chaud et sec, ou bien il est chaud et humide.

Dans le premier cas la résistance de l'homme est considérable. En 1775, Banks resta pendant 7 minutes dans une étuve sèche à 99°4 sans que sa température propre dépassat 36°6. Dobson a pu supporter pendant un temps variant de 8 à 20 minutes des températures comprises entre 94° et 127°. Tillet rapporta en 1763, à l'Académie des sciences, qu'il avait été témoin, à Larochefoucauld, du fait suivant : Trois jeunes filles purent rester pendant 10 minutes dans un four dont la température était de 131° pendant qu'à côté d'elles on pouvait faire cuire de la viande et des pommes.

On doit se demander pourquoi la température de l'homme ne varie pas sous l'influence de la chaleur sèche. L'homme n'a qu'à évaporer à la surface de son corps une quantité de liquide telle que la quantité de chaleur qui lui est enlevée par l'évaporation soit précisément égale à celle qu'il reçoit du milieu extérieur. La sueur contient 99 p. 100 d'eau ; on peut donc admettre que la chaleur de vaporisation de la sueur est sensiblement la même que celle de l'eau.

D'après la formule de Regnault, la quantité de chaleur absorbée par 1 kil. d'eau ou de sueur qui se vaporise à 37° est :

$$Q = 606,5 + 0,305 \times 37 = 617^{cal},18$$

Cette quantité de chaleur est exprimée en calorie-kilogramme-degré centigrade ; elle serait capable d'abaisser de 10° la température d'un homme pesant 60 kil. [la chaleur spécifique du corps humain étant égale à celle de l'eau]. On comprend alors pourquoi la résistance de l'homme à l'action de la chaleur est si grande dans un milieu sec. Un homme au repos produit environ 1 litre de sueur en 24 heures, mais dans certaines conditions, cette quantité peut être beaucoup augmentée. Le professeur Bergonié a fait une expérience sur un cycliste ; la température extérieure étant 24°, l'état hygrométrique de l'air étant 0,5, le poids du cycliste diminua de 930 gr. en 1 heure. Dans ce nombre, une partie revient à l'acide carbonique exhalé, l'autre à la sueur. Il faut remarquer que le poids d'acide carbonique rendu est très faible.

Pour prouver combien l'animal est assimilable à un corps capable d'évaporer un liquide à sa surface.

Delaroche et Berger ont fait la curieuse expérience suivante :

Ils placèrent dans une étuve sèche, dont la température devait s'élever progressivement jusqu'à 87°5, un alcarazas et un lapin de même poids. En chauffant l'étuve ils observèrent à la fin de l'expérience que le lapin avait perdu 120 gr. et l'alcarazas à peu près autant. Ces deux corps avaient résisté à l'action de la chaleur par le même mécanisme.

Si on considère un milieu saturé de vapeur d'eau, les choses ne se passent pas de la même façon ; l'évaporation ne pouvant pas se faire, les glandes sudoripares fonctionnent bien moins et la température du corps s'élève. Ainsi, dans un bain de vapeur dont la

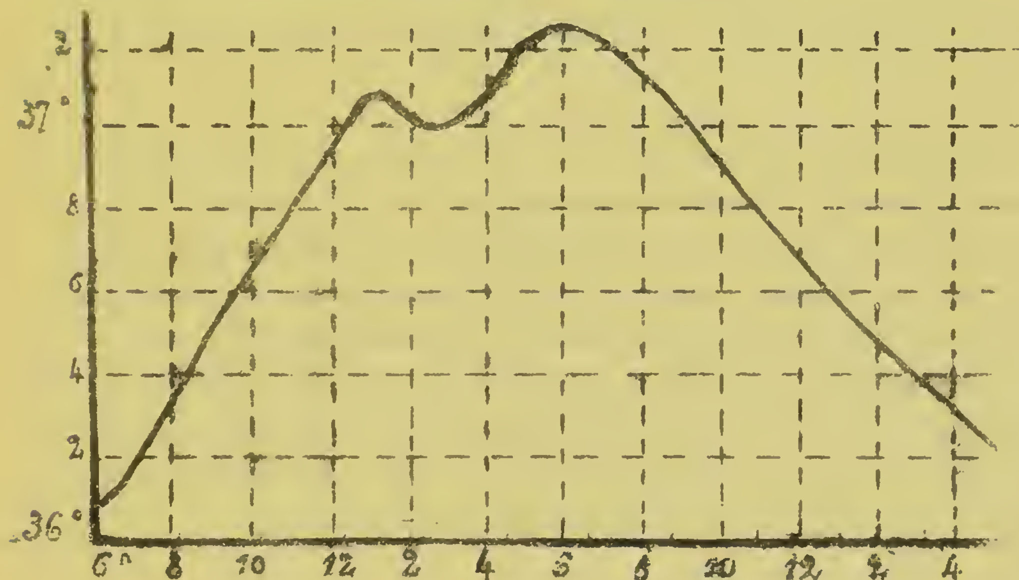
température était de 38°7 Delaroche vit sa température propre s'élever de 3°12 en 17 minutes.

L'élévation de température peut être encore beaucoup plus grande lorsque le milieu extérieur est de l'eau liquide dont on élève progressivement la température. Lemonier ne put supporter plus de 8 minutes l'action d'un bain de Barèges dont la température était de 44°4 ; une grande agitation et de violents étourdissements le forcèrent à sortir du bain.



Quatrième Leçon

Variation diurne. — La température physiologique de l'homme n'est pas la même à tous les instants de la journée; elle varie périodiquement suivant un cycle qui se reproduit toujours le même. La courbe de la variation diurne a été déterminée par plusieurs observateurs. On la construit en prenant les températures pour ordonnées et les heures sidérales pour abscisses.



Cette courbe présente deux maxima et deux minima; le premier maximum se produit vers 1 heure de l'après-midi, le second, plus élevé, entre 6 et 7 heures du soir. Les minima ont lieu vers 5 heures du matin et vers 3 heures du soir. Les oscillations de cette courbe sont assez considérables et comprises entre 36°1 et 37°3.

En résumé la température physiologique s'élève depuis 5 heures du matin jusqu'à 5 heures du soir [*exacerbation vespérale*] et s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'à 5 heures du matin [*rémission matutinale*].

Influence de l'age: — On a trouvé que l'enfant, immédiatement après sa naissance, voyait sa température s'abaisser énormément. Elle s'élève ensuite, tend vers un maximum qu'elle atteint à l'âge de l'adolescence, puis tend à s'abaisser ensuite pour atteindre un minimum vers l'extrême vieillesse.

Ceci s'explique facilement, car les réactions exothermiques ayant leur siège dans l'organisme sont plus actives pendant l'adolescence que pendant la vieillesse.

Influence de la race et du sexe. — La race et le sexe ne paraissent pas exercer d'influence sur la température physiologique. La température des habitants des régions tropicales est plus élevée, il est vrai, que celle des Européens, mais lorsque les Européens vont habiter les zones tropicales leur température est aussi élevée que celle des indigènes. Il y a donc là une influence de milieu et non de race.

Influence du travail musculaire. — Le travail musculaire est une des plus puissantes causes de calorification et par cela même d'élévation de température. Wunderlich a pris la température d'un coureur après une course ; elle était de 39°5. Le professeur Bergonié a expérimenté un sujet soumis à une fatigue considérable ; sa température était 38°6. Ch. Richet a pris un chien et un lapin et les a attachés tous deux sur une table d'expérience. Le chien se remuait et s'agitait beaucoup ; sa température rectale a augmenté de 39° à 41°. Le lapin, au contraire, resta immobile et tremblant et sa température baissa de 1°.

Pour provoquer une élévation de température plus considérable il suffit de produire pendant longtemps des contractions musculaires. L'animal qui se défend finit par s'épuiser et devient incapable de se remuer davantage. On peut produire chez lui un tétanos très durable au moyen d'excitations faradiques. En faradisant la moelle d'un chien, Ch. Richet a pu élever sa température de 39°2 à 43°5.

Influence du travail intellectuel. — Le travail intellectuel produit le même effet. MM. Richet et Gley ont évalué leur température en état de repos d'esprit et après avoir lu un article de la *Revue philosophique*. Ils ont trouvé une élévation de température de quelques centièmes de degré. Cette élévation de température cessait avec la lecture.

Variations pathologiques de la température de l'homme

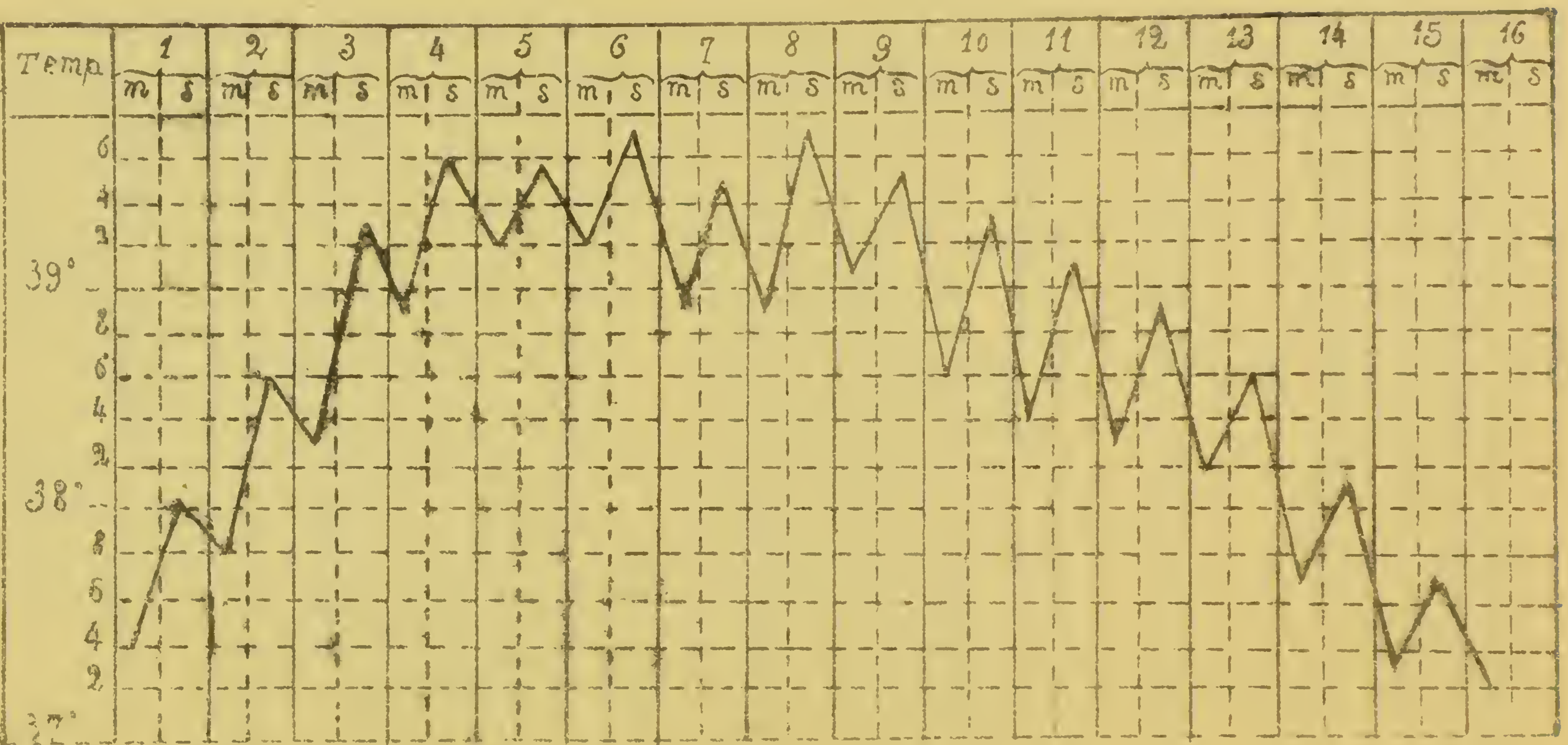
Ces variations sont très importantes à considérer et peuvent être d'un grand secours pour le pronostic, le traitement et quelquefois même le diagnostic d'une maladie.

En clinique on trace la courbe de température des malades en prenant deux points par jour, un le matin, un le soir. Il importe de faire les mesures à heure fixe. On obtient ainsi une ligne brisée irrégulière, à angles vifs, que l'on nomme *courbe de températures*, mais qui ne représente pas exactement la température du malade. La courbe vraie présenterait une forme ondulée et ne coïnciderait avec la première qu'aux points directement marqués et qui ont servi à la tracer.

Les courbes obtenues présentent trois phases distinctes ; au début de la maladie, la température s'élève par une série d'oscillations jusqu'à une température maximum [*période d'ascension*]. Ensuite, abstraction faite des variations diurnes, la courbe se maintient au voisinage de ce maximum [*période de fastigium*]. Enfin la courbe abandonne cette direction et redescend par une nouvelle série d'oscillations vers la température physiologique de 37° où elle finit par se fixer (*période de défervescence*). La dernière partie de la courbe manque dans les cas qui ont une issue fatale.

Les températures supérieures à 37°5 sont appelées *températures fébriles*. Elles ont été classées par Charcot de la façon suivante :

De 37°5	à	38°	Etat subfébrile.
De 38°	à	39°5	Etat de fièvre modérée.
De 39°5	à	40°	Etat de fièvre intense.
Au-dessus de 40°			Etat hyperpyrétique.



Temp.
39°
38°
37°
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
m s

Les états pathologiques dans lesquels on observe de l'hyperthermie peuvent être rangés en quatre groupes.

1° *Coup de chaleur.* — Le coup de chaleur est produit lorsque le corps exposé à une haute température ne peut pas produire à sa surface une évaporation intense. Il porte le nom d'insolation lorsque l'action de la lumière s'ajoute à celle de la chaleur.

Dans les régions tropicales la température atteint 60° à l'ombre; dans les chambres de chauffe des paquebots la température est aussi très élevée.

Zuber a observé 3 cas d'insolation suivis de mort chez des soldats dont la température avait atteint 43°.

Seguin a observé 1 cas analogue suivi de guérison chez un chauffeur dont la température avait atteint 42°8.

2° *Maladies convulsives.* — Cet état est causé par des contractions musculaires répétées, produites par des causes pathologiques, le délire alcoolique, les attaques épileptiformes, le tétanos, l'éclampsie ; la température du malade peut atteindre 43 et 44°. Dans un cas Wunderlich a observé 44°7.

3° *Traumatismes du système nerveux.* — Lorsque par suite d'une chûte d'un lieu élevé, la colonne vertébrale est atteinte, la *régulation* est interrompue par suite de la destruction de l'organe. On observe alors chez le malade une élévation plus ou moins grande de température.

Brodie a observé deux cas de fracture de la colonne vertébrale suivis de mort, avec des températures de 43° et 43°9.

Simon a observé une température de 44° dans une fracture de la 12e vertèbre dorsale.

4° *Maladies infectieuses.* — Ce groupe est de beaucoup le plus important.

Lorsque la température de l'organisme s'élève brusquement il s'ensuit que l'organisme est infecté.

La mesure des températures a une grande importance en chirurgie. Après une opération chirurgicale la plaie doit être soigneusement protégée contre l'ensemencement microbien au moyen d'un pansement par occlusion. Mais alors il est impossible d'examiner la plaie sans la mettre à nu et le chirurgien ne peut pas se rendre

compte directement et sans défaire le pansement du résultat de l'opération. L'examen de la température du malade est alors très utile, puisque de l'hyperthermie on peut déduire la pullulation des cultures microbiennes.

Si donc la place reste aseptique, on n'observera pas d'élévation de température.

Si, au contraire, la plaie devient septique, l'élévation de la température attirera l'attention du chirurgien.

Dans les maladies infectieuses, fièvres diverses, scarlatine, variole, il est très important de suivre exactement la variation de la température du malade, car il existe une température que l'organisme ne peut pas supporter et qui est ordinairement suivie de mort.

Le tableau suivant, emprunté à M. Richet, donne les températures observées dans un certain nombre de cas.

Maladie	Tempre	Résultat	Observateur
—	—	—	—
Fièvre thyphoïde	42°	guérison	Awarenga
—	42°	mort	Niederkorn
—	42°25	—	Wunderlich
Fièvre puerpérale	43°75	—	—
» scarlatine	42°	—	Niederkorn
Méningite tuberculeuse	42°	—	—
Variole	42°8	—	Wunderlich
Erysipèle	42°	—	Trousseau
Fièvre jaune	42°5	—	Nœgeli
Rage	42°8	—	Landouzy
—	43°	—	Joffroy
Fièvre intermittente	42°	guérison	Gavarret
Pneumonie	42°	mort	Wunderlich
Pleurésie	42°	—	Niederkorn

Il existe d'autres maladies dans lesquelles il y a comme symptôme dominant une hypothermie ou abaissement de température.

Ces états pathologiques peuvent être rangés dans deux catégories :

1° *Inanition et asphyxie.* — L'inanition se produit chez les êtres vivants qui ne mangent pas ; ils perdent leurs forces et leur température baisse.

Mignot a observé deux cas d'atrepsie chez des enfants en bas âge ; l'issue a été fatale et les températures étaient de 32° et 28°.

Bourneville et d'Ollier ont observé une température de 27°9 dans un cas de cyanose congénitale suivie de mort.

Desbarreaux, dans un cas d'inanition suivi de mort a observé 24°.

2° *Intoxications.* — Dans les cas d'empoisonnements, une hypothermie notable peut se produire.

Nous citerons les exemples suivants :

Urémie	issue fatale	température =	31°5	(Bourneville)
—	—	—	30°1	(Netter)
Cancer utérin	—	—	30°7	(Ch. Richet)
Empoison. plombique	—	—	28°	(Marcan)

Conclusion. — Les résultats qui précèdent nous indiquent quelles sont les températures maxima et minima qui sont compatibles avec la vie.

A 43° et 44° la mort est absolument certaine.

A 42° le danger est très grand.

Au-dessous de 41°5 il y a souvent guérison.

Un abaissement de température de 10° présente de très grands dangers.

Un abaissement de température de 5° ou 6° n'est pas fatal et on peut, dans ce cas, ramener les malades à la vie en pratiquant la respiration artificielle comme le faisait Cl. Bernard.

Cinquième Leçon

Topographie thermique

La température de l'homme et des animaux n'est pas la même dans toutes les parties de leur corps. Elle varie d'un point à l'autre et il y a lieu d'étudier séparément la température de la peau, celle des cavités naturelles, celle du sang.

I. Topographie thermique périphérique

L'importance des températures périphériques de l'homme est assez grande si l'on songe que certains cliniciens éminents, Gubler, Hardy, Peter, Brocat, Charcot, Lépine, Constantin Paul, ont tiré de leur observation à l'état pathologique des éléments de diagnostic auxquels ils attribuaient une valeur capitale. Aussi l'étude *des températures locales* a-t-elle fourni, il y a quelques années, des travaux remarquables.

Cette étude doit avoir pour base la connaissance exacte des températures locales à la surface de la peau à l'état physiologique. La comparaison de la température observée en un certain point dans un état pathologique avec la température physiologique au même point pourra donner des indications sur cet état.

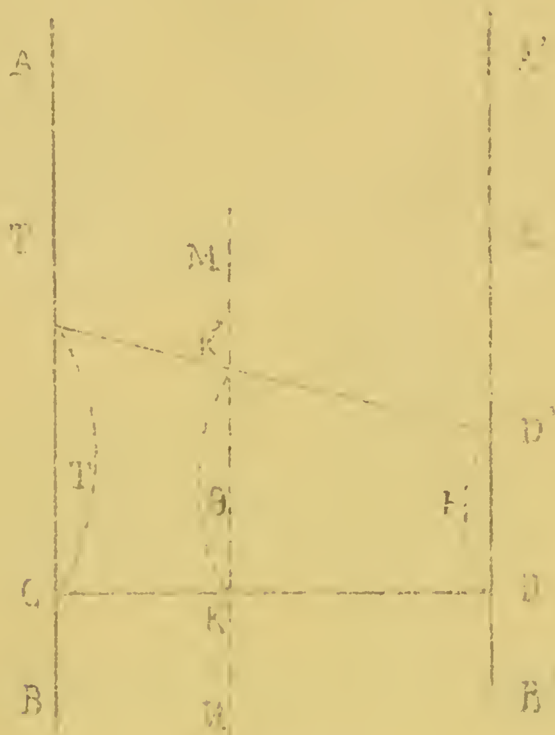
La détermination des températures périphériques est des plus difficile, et les tableaux de ces températures donnés par divers auteurs présentent pour un même point des écarts parfois considérables. Il est facile d'ailleurs de se rendre compte de ces divergences et de les expliquer par l'application des principes physiques que nous connaissons. Le corps de l'homme peut être assimilé, en effet, au point de vue thermique, à une masse mauvaise conductrice à l'intérieur de laquelle se trouve un corps chaud à température pas ou peu variable. Ce corps chaud c'est le liquide sanguin appelé, pour d'autres raison, *milieu intérieur* ; cette appellation lui convient également au point de vue qui nous occupe. Dans ces conditions très simples nous sommes en présence d'un cas analogue à celui du mur indéfini de Fourier à travers lequel la chaleur se propage par conductibilité, les deux faces du mur étant maintenues à des températures invariables. Ces deux faces sont du côté froid et extérieur, la peau, du côté intérieur et chaud, les parois des vaisseaux dans lesquels circule le sang.



L'analogie étant suffisante pour que nous puissions en tirer quelques éclaircissements, rappelons ce qui se passe lorsqu'un flux de chaleur se propage par conductibilité à travers un mur indéfini en longueur et en hauteur, d'épaisseur invariable e, et dont les faces AB, A'B' sont maintenues à des températures T et t. Supposons qu T > t. Dans ces conditions la température des couches successi

ves ira en diminuant en progression arithmétique de AB à A'B' ; si sur la droite CD on élève en C et D des perpendiculaires respectivement égales à T et à t, il suffira de joindre les points obtenus C'D' pour que la température Θ de la couche intérieure MN soit représentée par la longueur KK'.

La température Θ de la tranche MN sera donc d'autant plus élevée que cette tranche sera plus rapprochée de la face chaude AB.

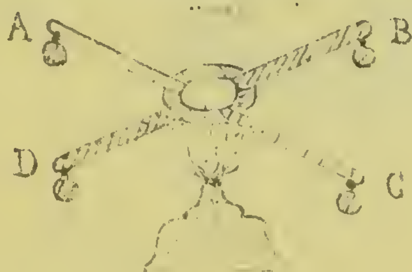


Il résulte de ce qui précède que, dans le cas particulier qui nous occupe, toute couche des tissus de l'homme ou de l'animal aura une température peu élevée si elle est éloignée des grands vaisseaux, tout point au contraire qui en sera très voisin aura une température se rapprochant de celle de ces vaisseaux.

La proximité des gros vaisseaux sanguins sera donc un des facteurs qui feront varier d'un point à un autre la température périphérique d'un animal.

La conductibilité calorifique des tissus joue aussi un certain rôle : On peut montrer facilement que la chaleur se propage avec des vitesses différentes dans les différents corps solides, bois, ivoire, fer, cuivre, argent ; il suffit pour cela de chauffer avec un bec de

gaz la partie centrale d'une étoile dont les rayons, constitués par des corps de nature différente supportent à leur extrémité des petites sphères en buis fixées avec de la cire fondue. La masse fixée à l'extrémité de la tige d'argent se détache la première, ce qui veut dire que de tous les corps ainsi associés l'argent est le meilleur conducteur de la chaleur. On peut mettre le même phénomène en évidence au moyen de l'expérience d'Ingenhoutz.



Les divers tissus animaux ont, eux aussi, des conductibilités calorifiques différentes, et il est important de connaître la conductibilité de chacun d'eux pour se rendre compte de la manière dont ils peuvent transmettre la chaleur à la surface de la peau.

L'expérience journalière nous apprend que la conductibilité calorifique des tissus est très faible ; ainsi par exemple, lorsqu'on applique des pointes de feu sur la peau d'un malade, le tissus est détruit aux points touchés par le fer rouge, mais les parties voisines restent intactes.

Landois a comparé directement la conductibilité des différents tissus de l'organisme. Une couche de tissu recouverte de paraffine entourai une éprouvette dans laquelle on faisait bouillir de l'eau. Le temps nécessaire pour obtenir la fusion de la paraffine indiquait la conductibilité relative du tissu étudié. Landois a trouvé par ordre de conductibilité décroissante le tissu osseux, les cartilages, les tendons, les muscles, les cheveux, la peau.



La mauvaise conductibilité des tissus n'est pas un fait étonnant :

ils sont en très grande partie formés d'eau enfermée dans les mailles du tissu à la façon d'une éponge mouillée, et devront par conséquent avoir une conductibilité voisine de celle de l'eau. Or l'eau est un liquide très mauvais conducteur. Si on allume de l'éther à partie supérieure d'une éprouvette remplie d'eau, un thermomètre placé à quelques millimètres au-dessous de la couche de séparation des deux liquides ne sera nullement influencé par la combustion de l'éther. L'eau transmet donc très mal la chaleur.



Le rayonnement des tissus a aussi une influence sur la température de la surface de la peau. Lorsqu'on fait une mesure on ne doit pas recouvrir le réservoir thermométrique ni la peau sous-jacente; on doit opérer sur des tissus entièrement dénudés.

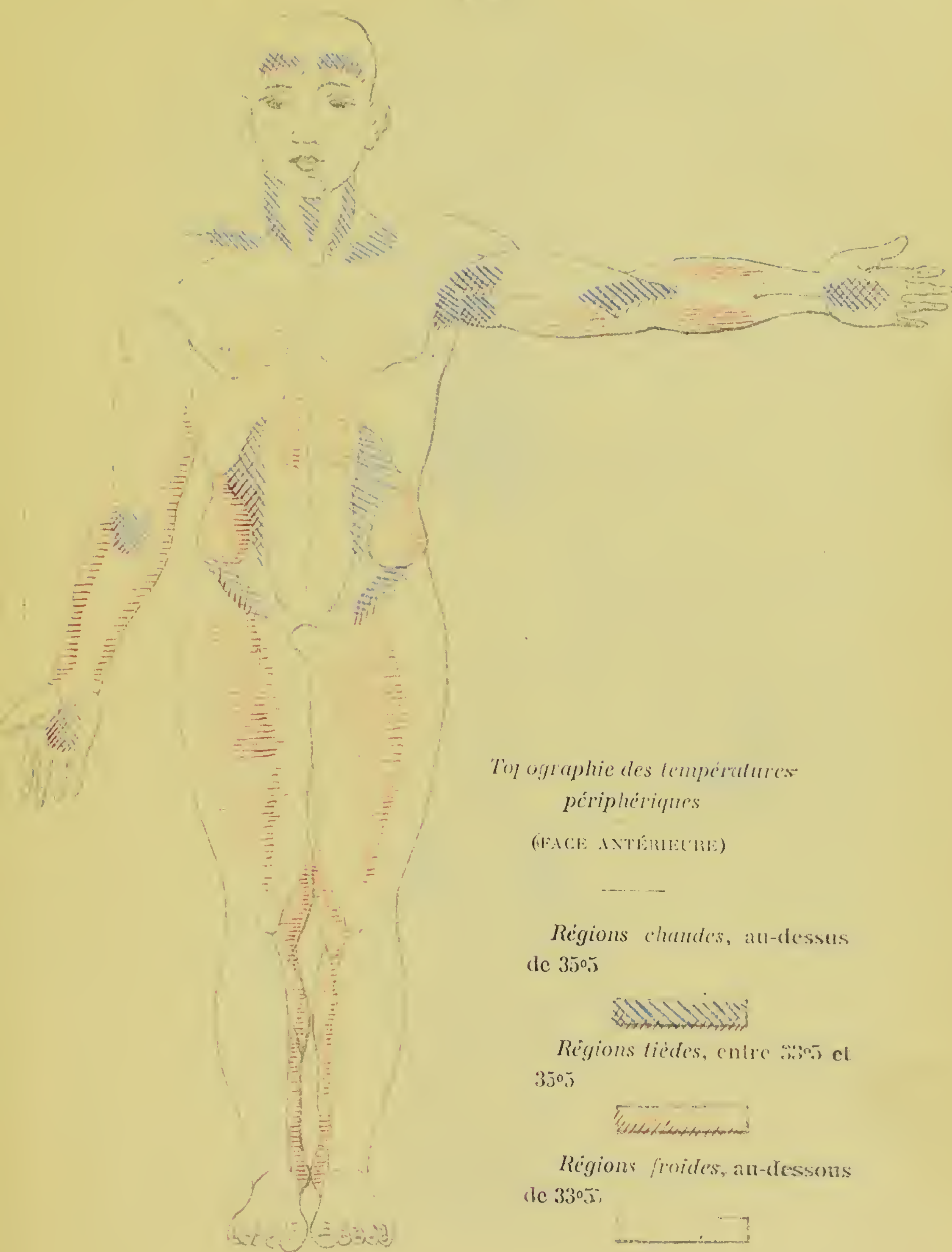
L'évaporation des liquides à la surface de la peau aura pour effet d'abaisser la température que l'on cherche à mesurer. Les tissus étudiés doivent être desséchés avec soin.

Les résultats obtenus figurent sous forme de carte dans les tableaux ci-joints, établis au moyen des résultats donnés par J. Davy, Piorry, Alvarenga, Gassot, Redard.

Températures des cavités naturelles

Les températures des cavités naturelles, comparées à celle de l'aisselle, sont assez élevées. Ces températures ne sont pas toujours faciles à mesurer avec exactitude. Pour mesurer celle de la cavité buccale, on placera le thermomètre sous la langue et, les lèvres étant closes, la respiration devra se faire exclusivement par le nez.

Temp^re de l'aisselle	37°	Temp^re buccale	37°3
— du rectum	37°7 à 38°	— nasale	36°5
— du vagin	37°3 à 37°8	du conduit audit^if ext^ne	35°2



Topographie des températures périphériques

(FACE ANTÉRIEURE)

Régions chaudes, au-dessus de 35°5

Régions tièdes, entre 33°5 et 35°5

Régions froides, au-dessous de 33°5



(Face postérieure)

MÊME LÉGENDE

Quelques physiologistes ont pris la température de l'urine au moment de la miction ; d'autres ont mesuré celle de l'intérieur du tube digestif.

Berger a utilisé la vivisection pour prendre la température de divers tissus d'un mouton.

Température sous-cutanée	37°35	Température du foie	41°15
— du cerveau	40°25	— du poumon	41°40

Ludwig a trouvé que la température de la glande sous-maxillaire, au moment de l'émission de la salive, était supérieure de un degré à celle de la carotide externe qui lui fournit le sang.

II. Topographie thermique du sang

Les différences de température que l'on observe dans les diverses partie de l'arbre circulatoire ont été définitivement fixées dans la science par les recherches de Claude Bernard.

Ce grand physiologiste se servait tantôt de thermomètres à mercure, longs, grêles, indiquant le 1/50e de degré, tantôt de sondes thermo-électriques ayant jusqu'à 75 centim. de long et formées par des aiguilles de fer et de maillechort soudées à leur pointe et engaînées dans une enveloppes en gomme imperméable. Un tel instrument était d'abord très flexible et ensuite assez sensible pour que la lecture du 1/57e de degré soit possible. Les lectures se faisaient par la méthode optique avec un galvanomètre à miroir.

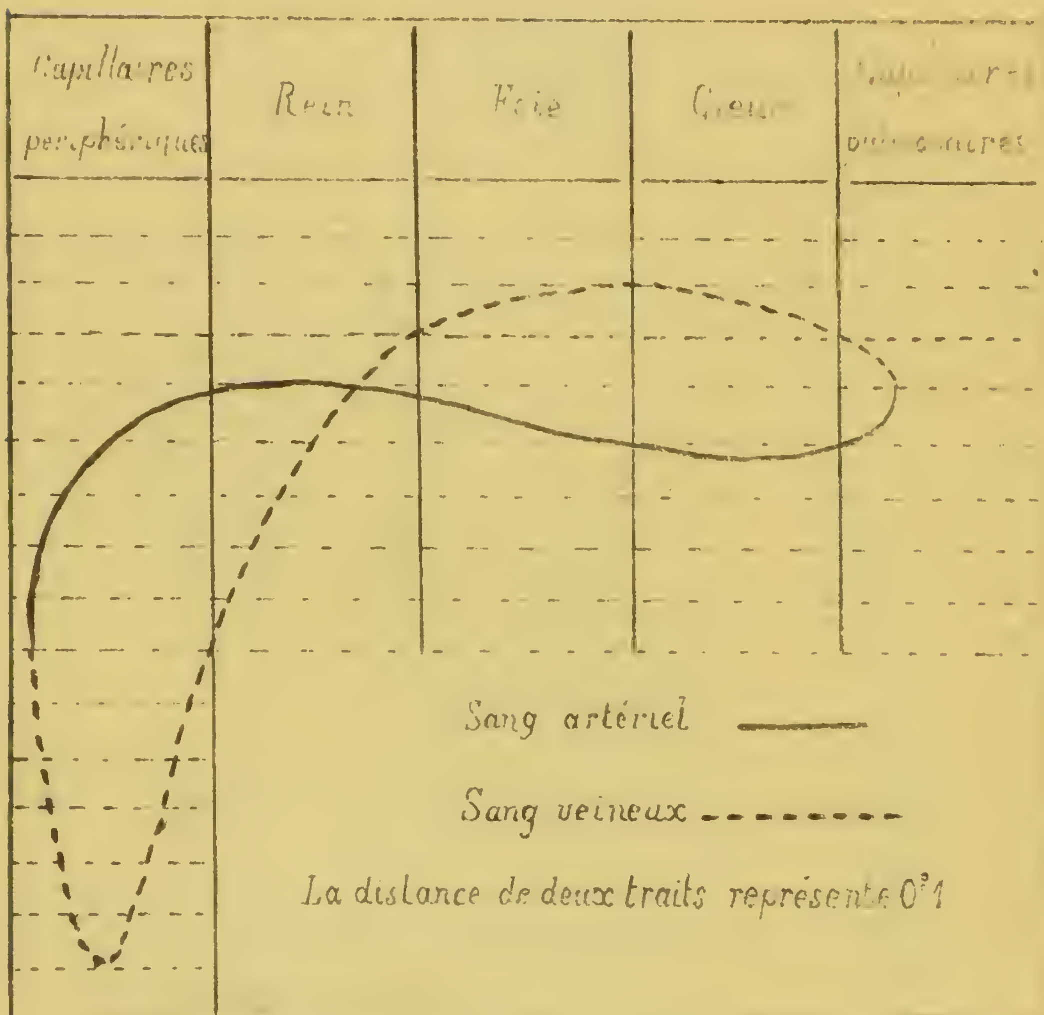


Pour étudier la question si controversée du sang artériel et du sang veineux, Cl. Bernard mettait à nu l'artère et la veine crurales d'un chien, puis il enfonçait ses sondes dans ces deux vaisseaux, du côté du cœur.

Les sondes étant poussées *jusqu'à la bifurcation de l'aorte abdominale et de la veine*

cave inférieure, le galvanomètre indique en faveur du sang artériel un excès de 0°5.

En poussant ensemble les deux sondes du côté du cœur,on constate que cet excès diminue à mesure qu'on s'en rapproche ; il est nul au niveau des veines rénales. *Donc au niveau de l'embouchure des veines rénales la température du sang veineux est égale à celle du sang artériel.* Si on continue à faire cheminer les deux sondes vers le cœur, on trouve qu'*au-dessus des veines hépatiques la déviation galvanométrique indique un excès de* 0°5 *en faveur du sang veineux.* C'est à ce niveau qu'est situé le *maximum topographique* des températures chez l'animal. Les sondes ayant pénétré dans les deux



cœurs, on constate que la déviation galvanométrique quoique moins grande a toujours lieu dans le même sens. *Le sang du cœur*

droit est donc plus chaud que celui du cœur gauche. La différence trouvée par Cl. Bernard a varié entre 0°17 et 0°20.

Les sondes introduites dans la veine jugulaire et dans la carotide correspondante donnent les mêmes résultats.

La figure ci-contre représente la courbe des états calorifiques successifs par lesquels passe un globule sanguin quelconque en effectuant son parcours à travers les vaisseaux de l'organisme. C'est le cycle thermique du sang ; il a la forme d'un 8.

Le système circulatoire peut être divisé en trois zones distinctes:

1° *La zone périphérique* où le sang artériel est plus chaud que le sang veineux ;

2° *La zone du foie et du cœur* où le sang veineux est plus chaud ,

3° *La zone des capillaires pulmonaires* où, de nouveau, le sang artériel l'emporte.

La considération des résultats précédents réduit à néant toute idée de localisation de la production de la chaleur animale, entre autre celle de Lavoisier pour qui le poumon était l'organe calorigène par excellence

Sixième Leçon

Calorimétrie animale

La calorimétrie animale a pour but l'étude et la mesure des quantités de chaleur dégagées par les êtres vivants.

Les mesures calorimétriques ont une bien plus grande importance que les mesures thermométriques. Si on compare un Indou ou un nègre, habitants les régions équatoriales où la température est supérieure à + 30°, avec un Lapon qui affronte dans les régions glaciales des températures de — 20°, on trouve que tous les deux ont approximativement la même température. Ils diffèrent cependant beaucoup par leur genre de vie et par leur alimentation. Le Lapon absorbe une assez grande quantité d'aliments substantiels, des graisses, et produit fort peu de travail mécanique. Le nègre, au contraire, mange beaucoup moins et produit beaucoup plus de travail mécanique. Cette différence se traduit physiologiquement par une inégalité dans la quantité de chaleur qu'ils produisent et comme cette quantité de chaleur est une des formes de l'énergie sous laquelle se manifeste ordinairement l'activité vitale des êtres vivants, elle peut servir à mesurer cette activité chez les individus appartenant aux diverses races.

Pour mesurer les quantités de chaleur produites par l'homme et

par les animaux, on ne peut pas utiliser sans les modifier les méthodes de mesure utilisées pour l'étude calorimétrique des corps inertes, et cela pour deux raisons : D'abord, l'être vivant ne contient pas une quantité finie et limitée de chaleur ; c'est une source capable de produire des quantités de chaleur qui augmentent avec le temps. Ensuite, les corps doués de vie étant influencés par le milieu extérieur doivent être maintenus dans des conditions favorables à leur activité vitale ; si on modifie les conditions physiologiques de leur existence, leur activité s'en ressentira.

Étant donné une source d'énergie mécanique qui produit pendant le temps T une quantité de travail W, la *puissance mécanique de cette source* est représentée par le quotient du travail par le temps.

$$P = \frac{W}{T}$$

Dans l'industrie on utilise comme unité de puissance mécanique le *cheval vapeur*. C'est la puissance mécanique d'une source qui produirait 75 kilogrammètres en une seconde.

L'analogie qui existe entre l'énergie mécanique et l'énergie calorifique nous permet de définir de la même manière *la puissance calorifique d'une source d'énergie calorifique*. Si la source dégage dans le temps T une quantité de chaleur égale à Q calories, la puissance de la source sera :

$$P = \frac{Q}{T}$$

c'est-à-dire le quotient de la quantité de chaleur par le temps.

Puissance calorifique des sources industrielles

Pour mesurer la puissance calorifique des sources industrielles on peut employer deux méthodes générales :

1° Méthode directe.

2° Méthode indirecte.

La méthode directe consiste à évaluer expérimentalement la

quantité de chaleur cédée par le corps brut étudié à un corps choisi comme corps calorimètrique. Le quotient de la quantité de chaleur dégagée par le corps brut par la durée de l'expérience représente la puissance calorifique cherchée.

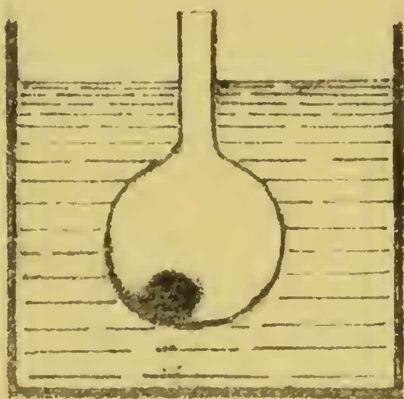
Quelques exemples vont vous faire saisir l'esprit de cette méthode.

A. Soit à mesurer la puissance calorifique d'une source quelconque. Si on peut l'introduire dans un calorimètre ordinaire contenant un poids M d'eau, cette source élèvera de t à T la température de l'eau du calorimètre en τ secondes.

La quantité de chaleur abandonnée par la source est M (T-t), sa puissance calorifique est $= \frac{M\ (T-t)}{\tau}$.

Elle est exprimée en calorie-kilogramme-degré centigrade.

B. Pour mesurer la puissance calorifique de la houille, on peut se servir des calorimètres de Favre et Silbermann ou de Berthelot. *La bombe calorimètrique* de M. Berthelot est un rèservoir calorimètrique en acier que l'on peut plonger dans un rècipient rempli d'eau. On met dans son intérieur un fragment de houille. on fait arriver de l'oxygène dans l'appareil et on produit la combustion. La quantité de chaleur dégagée dans cette réaction indiquera combien un kilogramme de ce combustible fournit de calories-kilogrammes-degrès.



C. L'électricité est une source de chaleur dont l'importance s'accroit de jour en jour.

Pour évaluer la quantité de chaleur dégagée en un temps donné T par un courant d'intensité I se propageant dans un conducteur de rèsistance R la méthode directe consiste à plonger dans un calorimètre ordinaire le conducteur qui est le siège du dégagement de chaleur. Ce conducteur devra être rèuni au circuit dans lequel se propage le courant par des tiges métalliques assez grosses pour

que le passage du courant ne produise pas sur [illegible] échauffement sensible.



L'élévation de température du calorimètre permettra de mesurer la quantité de chaleur dégagée dans le fil.

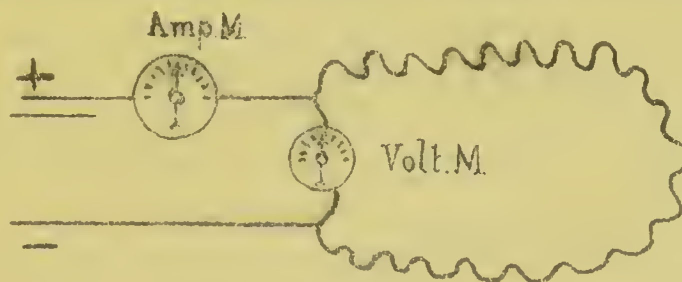
La mesure indirecte, très différente de la première, consiste soit à évaluer les quantités de chaleur dégagées dans des réactions par l'emploi de constantes thermochimiques, soit à faire usage de formules analytiques.

Nous allons considérer deux exemples :

A. Pour évaluer la puissance calorifique de 1 kilogr. de houille il suffira de remarquer que ce combustible peut être considéré comme un mélange de carbone, d'hydrogène, d'hydrocarbures et d'un résidu inerte. Si on connaît les proportions de ces divers corps et la chaleur de combustion de chacun d'eux, la quantité cherchée sera obtenue par une simple addition.

B. Pour évaluer la puissance calorifique d'un circuit électrique très étendu, faisant le tour d'une ville, par exemple, l'emploi du calorimètre est impossible.

On peut faire appel à la loi de Joule qui nous apprend que la quantité de chaleur Q dégagée dans un circuit traversé par un cou-



rant d'intensité I est proportionnelle à l'intensité I du courant et à la force électromotrice E qui a servi à le produire.

$$Q = K E I$$

K étant un coefficient de proportionnalité.

Si E est exprimé en volts

I » en ampères

Q » en calories-grammes-degrés-secondes,

on aura : $K = \frac{1}{4,17}$

$$\text{d'où } Q = \frac{1}{4,17} E I$$

Il suffira donc de lire les indications d'un volts-mètre et d'un ampères-mètre intercalés dans le circuit pour pouvoir calculer facilement la valeur de Q.

Puissance calorifique des sources animales

Dans l'étude calorimétrique des sources animales on peut, comme dans l'étude des corps bruts, utiliser les deux méthodes générales dont nous venons de parler.

La méthode directe a été utilisé dans un grand nombre de tentatives faites pour déterminer les quantités de chaleur produites par l'homme et les animaux. Déjà en 1777, Lavoisier avait donné des indications suffisantes pour rendre cette méthode applicable : « Il y a une relation constante, dit-il, entre la chaleur de l'animal et la quantité d'air entrée ou au moins convertie en air fixe dans les poumons. »

A. *Expériences de Lavoisier et Laplace.* — Pour arriver à la démonstration expérimentale de l'affirmation que nous venons de citer, Lavoisier imagina son calorimètre à glace et fit avec Laplace la première expérience de calorimétrie animale. Le calorimètre à glace de Lavoisier et Laplace utilisa la méthode de fusion de la glace pour la mesure des quantités de chaleur.

Si on représente par Q la quantité de chaleur nécessaire pour fondre une quantité P de glace à 0° sans élever sa température, on a :

$$\frac{Q}{P} = \text{constante.}$$

Cette constante est appelée *la chaleur latente de fusion de la glace.*

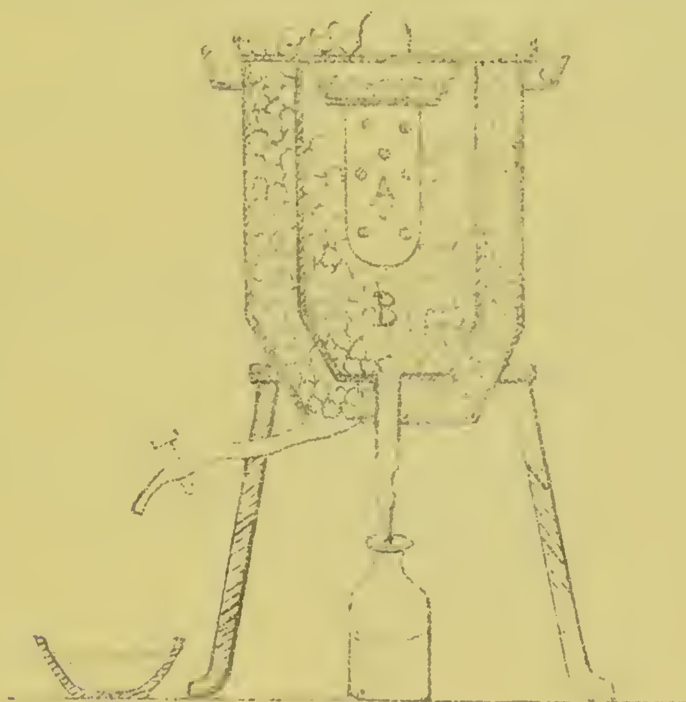
Si on évalue Q en calories-grammes,

P en grammes,

on aura : $\frac{Q}{P} = 79,25.$

ce qui veut dire que pour fondre 1 gr. de glace à 0° il faut lui fournir $79^{cal},25$.

C'est cette donnée physique qui a servi à mesurer la quantité de chaleur produite dans le calorimètre de Lavoisier et Laplace. L'animal, placé dans une corbeille métallique *A*, est plongé au sein d'une masse de glace réduite en menus fragments et contenue dans un espace annulaire *B*. Cette glace est protégée contre le rayonnement extérieur par une seconde couche de glace contenue elle-même dans un second espace annulaire *C*. Un double couvercle



recouvre l'appareil. Soit P la quantité de glace fondue dans le réservoir B pendant le temps T. L'animal soumis à l'expérimentation a donc produit pendant ce temps une quantité de chaleur

$$Q = 79,25 \times P.$$

Sa puissance calorifique est égale à $\frac{79,25}{T}$

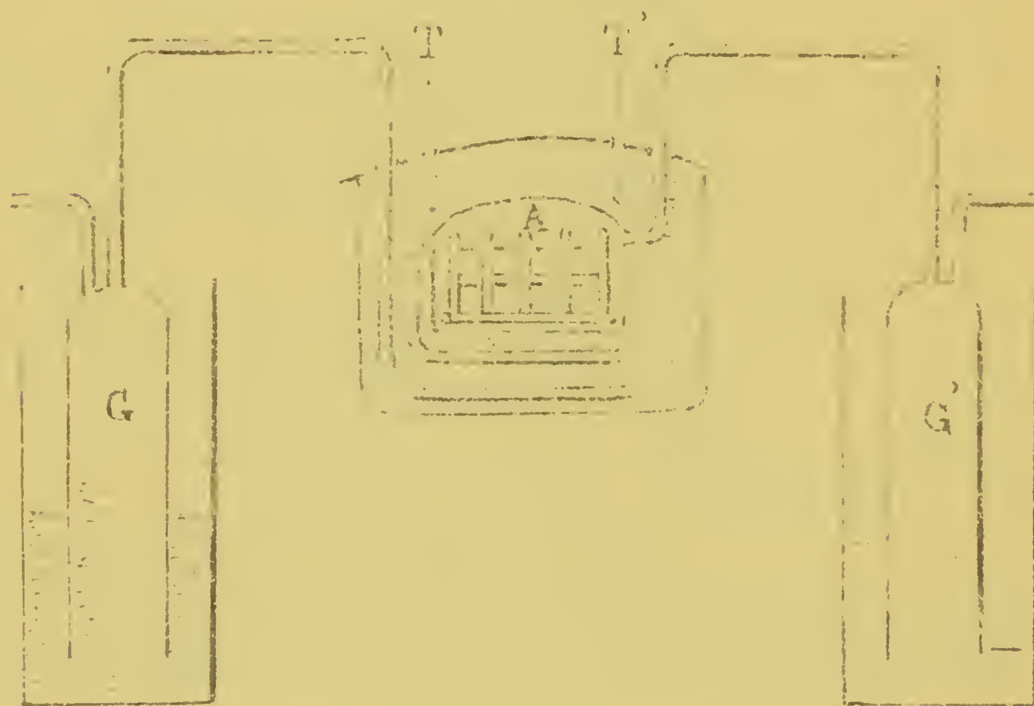
On peut faire quelques graves objections à la méthode et à l'appareil de Lavoisier et Laplace.

Au point de vue physique, il était difficile de recueillir toute l'eau provenant de la fusion de la glace, car une certaine quantité de ce liquide restait interposée entre les fragments de glace non fondue. L'erreur ainsi commise dans l'évaluation de P est multipliée par 79,25 dans la mesure de Q.

Au point de vue physiologique, l'animal est dans un milieu confiné où l'air ne se renouvelle pas, de telle sorte que sa respiration ne s'accomplit pas dans des conditions normales. De plus, il est dans une enceinte dont la température est relativement très basse ; il se refroidit alors et les conditions de sa vie normale sont modifiées.

B. *Expériences de Dulong et de Despretz.* — Les recherches de Dulong et celles de Despretz ont été faites simultanément et au moyen d'appareils presque identiques.

L'appareil de Dulong se compose essentiellement d'un vase calorimétrique en cuivre placé dans un autre récipient rempli d'eau



et à l'intérieur duquel se trouve l'animal, source de chaleur dont on veut mesurer le débit. Une cage en osier maintient l'animal éloigné des parois métalliques. Deux tubes métalliques partent du vase calorimétrique dans lequel est enfermé l'animal, l'un d'eux va aboutir à un gazomètre dans lequel on a établi un léger excès de pression, l'autre forme serpentin dans l'eau du réservoir et aboutit à un second gazomètre dans lequel on a établi une légère diminution de pression.

Il existe donc un courant d'air pur dans le vase occupé par l'animal ; cet air, au sortir du calorimètre, se refroidit dans le serpentin et lui cède toute la chaleur qu'il contient.

Deux thermomètres et un agitateur plongés dans le bain complètent l'appareil.

Soit P l'équivalent en eau du calorimètre.

T-t l'élévation de la température.

on aura : $Q = P\ (T-t)$.

Si τ est la durée de l'expérience, la puissance calorifique de la source sera égale à $\dfrac{P\ (T-t)}{\tau}$

Le calorimètre était entouré d'une enveloppe mauvaise conductrice destinée à éliminer toute perte de chaleur par rayonnement ; malgré cela une correction de refroidissement était nécessaire.

Le défaut de cette méthode est que la température de l'eau du calorimètre allait en augmentant pendant la durée d'une expérience ; il en résultait que les conditions physiques dans lesquelles se trouvait l'animal variaient d'un instant à l'autre.



Septième Leçon

Puissance calorifique des sources animales (*Suite*)

Les calorimètres modernes sont exempts des défauts que nous avons signalés en étudiant les appareils de Lavoisier et Laplace, de Dulong et de Despretz ; ils remplissent les conditions nécessaires pour mesurer avec exactitude les quantités de chaleur dégagées par l'homme et les animaux.

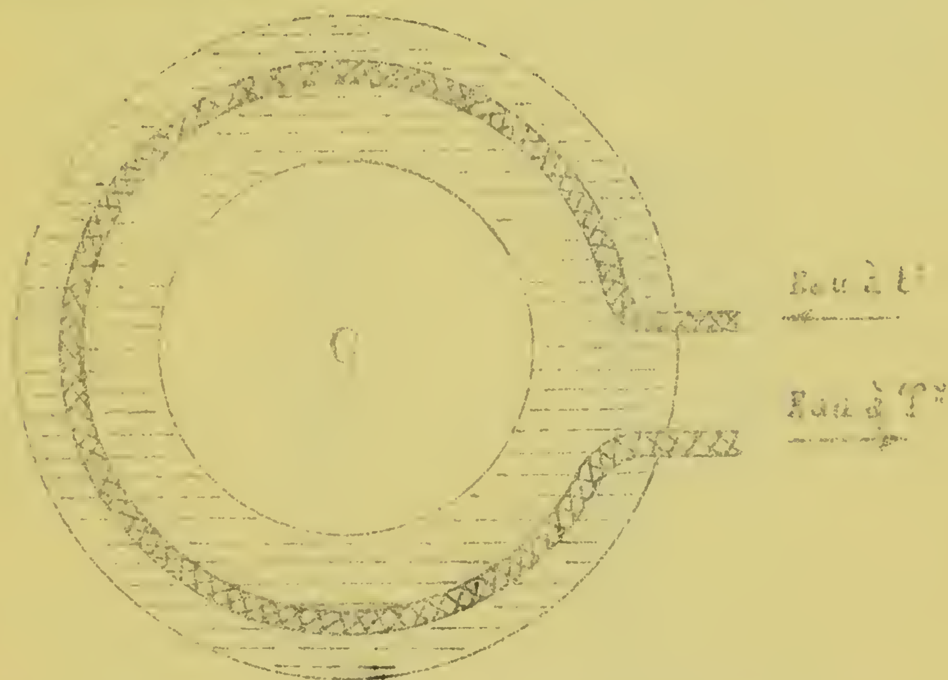
La propagation de la chaleur peut se faire par *conductibilité*, par *convection*, par *rayonnement*.

La chaleur passe d'un corps A à un autre B par *conductibilité*, s'il y a entre A et B une chaîne continue de molécules immobiles. Elle passe de A à B par *convection* si les molécules sont mobiles et se déplacent de A vers B. Enfin, elle se propage par *rayonnement* si elle utilise comme véhicule les ondes du fluide appelé éther.

Les méthodes calorimétriques peuvent utiliser ces trois ordres de phénomènes. La *méthode des mélanges*, fréquemment utilisée en physique générale, met en jeu le mode de propagation par conductibilité. En physiologie on emploie surtout les deux derniers modes: nous décrirons donc *les calorimètres à convection* et *les calorimètres à rayonnement*.

Calorimètres à convection. — Le premier calorimètre à convection a été construit par M. d'Arsonval. Son principe a été trouvé si parfait que de la physique physiologique pour laquelle il avait été construit il est passé dans le domaine de la physique générale,

Le principe de cet appareil est fort simple. L'animal vivant dont on veut mesurer le débit de chaleur est placé à l'intérieur d'un récipient métallique à double enveloppe. L'espace annulaire est rempli d'eau dont l'échauffement sera rendu impossible au moyen d'un serpentin parcourant le matelas d'eau et dans lequel on fait circuler un courant d'eau refroidie à t°. Cette eau froide emporte la chaleur cédée par l'animal à l'eau de l'espace annulaire et sort du serpentin à une température T.



Si au moyen d'un appareil spécial appelé *régulateur* on injecte dans le serpentin une quantité d'eau froide telle qu'elle sorte toujours à une température T choisie par l'expérimentateur, l'animal se trouvera pendant toute la durée de l'expérience dans un milieu ambiant dont la température sera invariable et égale à T.

La quantité de chaleur dégagée par l'animal pendant la durée T de l'expérience est facile à évaluer.

Soit P le poids d'eau froide qui a traversé le serpentin pendant le temps T. Elle a emporté une quantité de chaleur

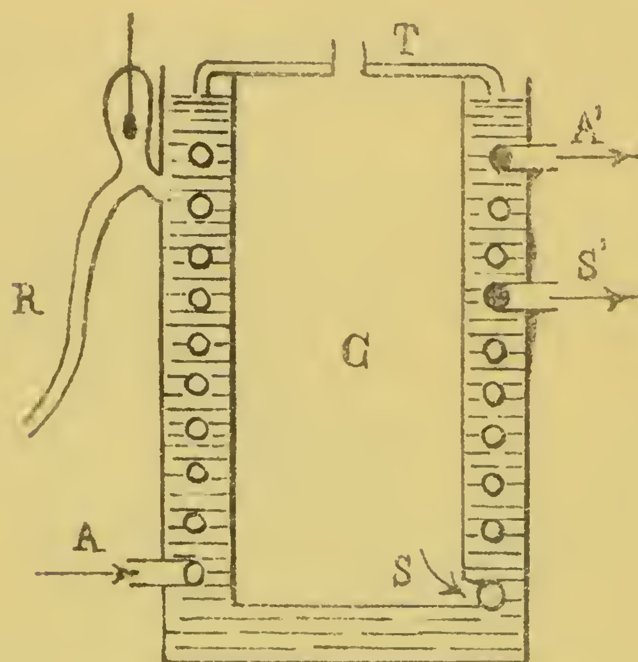
$$Q = P\ (T\text{-}t).$$

La puissance calorifique de la source a pour expression :

$$P.\ C.\ S.\ A = \frac{P\ (T\text{-}t).}{\tau}$$

La mesure de Q se fera par la seule détermination de P. Cette détermination peut se faire avec une très grande précision, la balance étant un des instruments les plus parfaits que l'on utilise en physique. La sensibilité de cet appareil est donc très considérable.

Cet appareil a en outre l'avantage de se prêter aussi bien à l'évaluation des quantités de chaleur positives qu'à celle des quantités négatives. Dans ce second cas on injectera de l'eau chaude dans le serpentin et on recueillera de l'eau refroidie au tube de sortie. Ainsi modifié l'appareil pourra servir à l'étude des sources endothermiques, l'incubation des œufs d'oiseaux, par exemple.



Le calorimètre que nous venons de décrire est complété par un autre serpentin par lequel s'échappe l'air qui a servi à la respiration de l'animal. Ce serpentin est plongé dans l'eau contenue dans l'espace annulaire.

L'air pur destiné à la ventilation arrive en T. L'air expiré s'échappe par le serpentin SS'.

Le liquide réfrigérant entre en A et sort en A'.

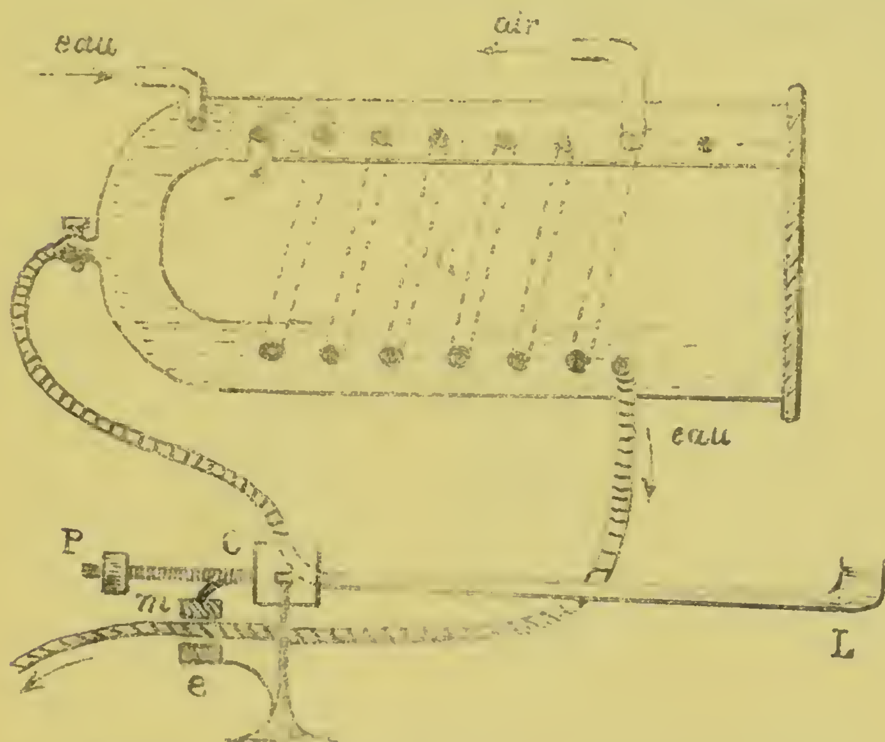
Le régulateur automatique utilise la dilatation du matelas d'eau pour obturer plus ou moins le tube d'échappement du serpentin refrigérant. On voit en R le tube de communication du matelas d'eau avec le régulateur.

Pour empêcher le calorimètre d'être troublé dans son fonction-

nement par le rayonnement extérieur, M. d'Arsonval enferme son calorimètre dans une étuve dont la température maintenue constante au moyen d'un autre régulateur est la même que celle du calorimètre.

Dans ces conditions l'appareil est à l'abri de toute cause d'erreur et aucune correction n'est nécessaire.

Le professeur agrégé Sigalas a fait construire et a utilisé dans ses recherches de calorimétrie animale un appareil fort simple basé sur le même principe.

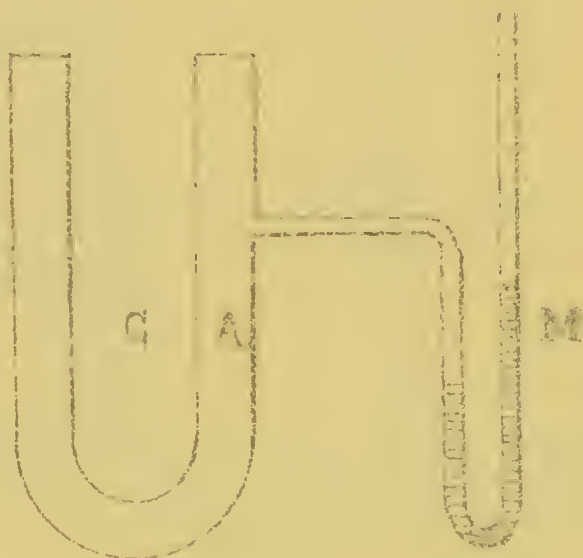


Le calorimètre à double enveloppe est en cuivre et a la forme d'un obus. Ses dimensions sont suffisantes pour contenir un lapin, un chat ou un chien. Le matelas liquide renfermé dsns l'espace annulaire est constitué par du pétrole dont le coefficient de dilatation est supérieur à celui de l'eau. Les serpentins à eau froide et à air sont immergés dans ce matelas de pétrole. Le régulateur est formé par un tube creux horizontal, mobile autour du point O et équilibré par un contre-poids P. L'effet du contre-poids est d'aplatir le tube de sortie du liquide refrigérant entre l'enclume *e* et le marteau *m*. Le pétrole est mis en communicatfon au moyen d'un tube en caoutchouc avec le tuyau creux constituant le levier O L et la

dilatation de ce liquide fera basculer l'appareil et dégagera le tube à réfrigérant. Entre ces deux effets contraires, un régime finira par s'établir. Toute source de chaleur introduite dans le calorimètre fera dilater le pétrole qui affluera dans la tige O L du régulateur et mettra en fonction l'eau du réfrigérant.

L'appareil était réglé de telle sorte que la température T de l'eau sortant du calorimètre soit égale à celle de la pièce où était installé l'appareil. Cette pièce, située dans les caves de la Faculté de médecine de Bordeaux, avait une température très constante.

L'eau froide injectée dans le serpentin à t° sortait d'un récipient entouré de glace fondante ; sa température était par conséquent égale à 0°.



Cet appareil avait donc l'avantage de maintenir l'animal à une température constante et d'être soustrait à toute cause d'erreur par rayonnement.

Le calorimètre de M. Sigalas était en outre agencé de façon à permettre en même temps que la mesure de la chaleur dégagée, le dosage exact des gaz de la respiration par la méthode de Regnault et Reiset.

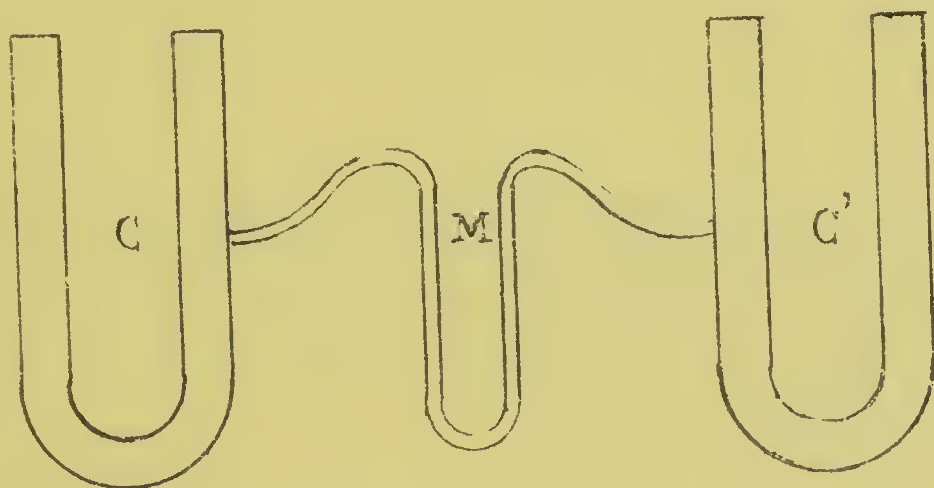
Calorimètres à rayonnement. — Ces appareils sont fort simples et d'un emploi très commode.

Le calorimètre à rayonnement de M. d'Arsonval est constitué par

un réservoir en cuivre, à double enveloppe, ayant la forme d'un obus. L'espace annulaire est rempli d'air mis en communication avec un manomètre à air libre au moyen d'un tube en caoutchouc.

Lorsqu'on introduit un animal dans le calorimètre, il échauffe le matelas d'air qui l'entoure et la dilatation de l'air produit une dénivellation dans le tube manométrique.

La température du calorimètre ne s'élève pas indéfiniment, car le rayonnement de l'appareil augmente à mesure que sa température s'élève. Un état d'équilibre devra alors se produire au moment où la perte de chaleur par rayonnement sera égale au gain fourni par la source. A partir de ce moment la dénivellation du manomètre restera constante.



Pour évaluer la puissance calorifique de l'animal soumis à l'expérimentation, il suffit de le remplacer dans le calorimètre par une source connue et réglable à volonté ; on la fera varier jusqu'à ce qu'on ait produit la même dénivellation que dans la première expérience. Les quantités de chaleur mises en jeu dans les deux expériences seront alors les mêmes.

Cet appareil doit donc être gradué expérimentalement.

Cet appareil présente un grave inconvénient. Toute variation de la pression atmosphérique pendant une expérience introduira une cause d'erreur et une correction barométrique sera nécessaire. Il en est de même des variations de température.

Pour éviter ces causes d'erreur, M. d'Arsonval amorce la seconde branche du manomètre sur un autre calorimètre identique au premier et appelé *calorimètre correcteur*. Ainsi construit l'appareil fonctionne comme un véritable *appareil différentiel*. Pour garder l'appareil diverses sources de chaleur pourront être employées.

On pourra introduire dans le calorimètre un petit bec brûlant du gaz d'éclairage ou de l'hydrogène et dont le débit sera rendu variable au moyen d'un robinet et sera mesuré au moyen d'un compteur. La composition du gaz d'éclairage étant variable, l'emploi d'un bec à hydrogène sera plus sûr.

On peut aussi se servir d'un fil de platine porté au rouge au moyen d'un courant électrique. Nous avons vu que la puissance calorifique d'un fil métallique chauffé au moyen d'un courant électrique pouvait être mesuré mathématiquement et avait pour expression :

$$P = \frac{1}{4,17} E I$$

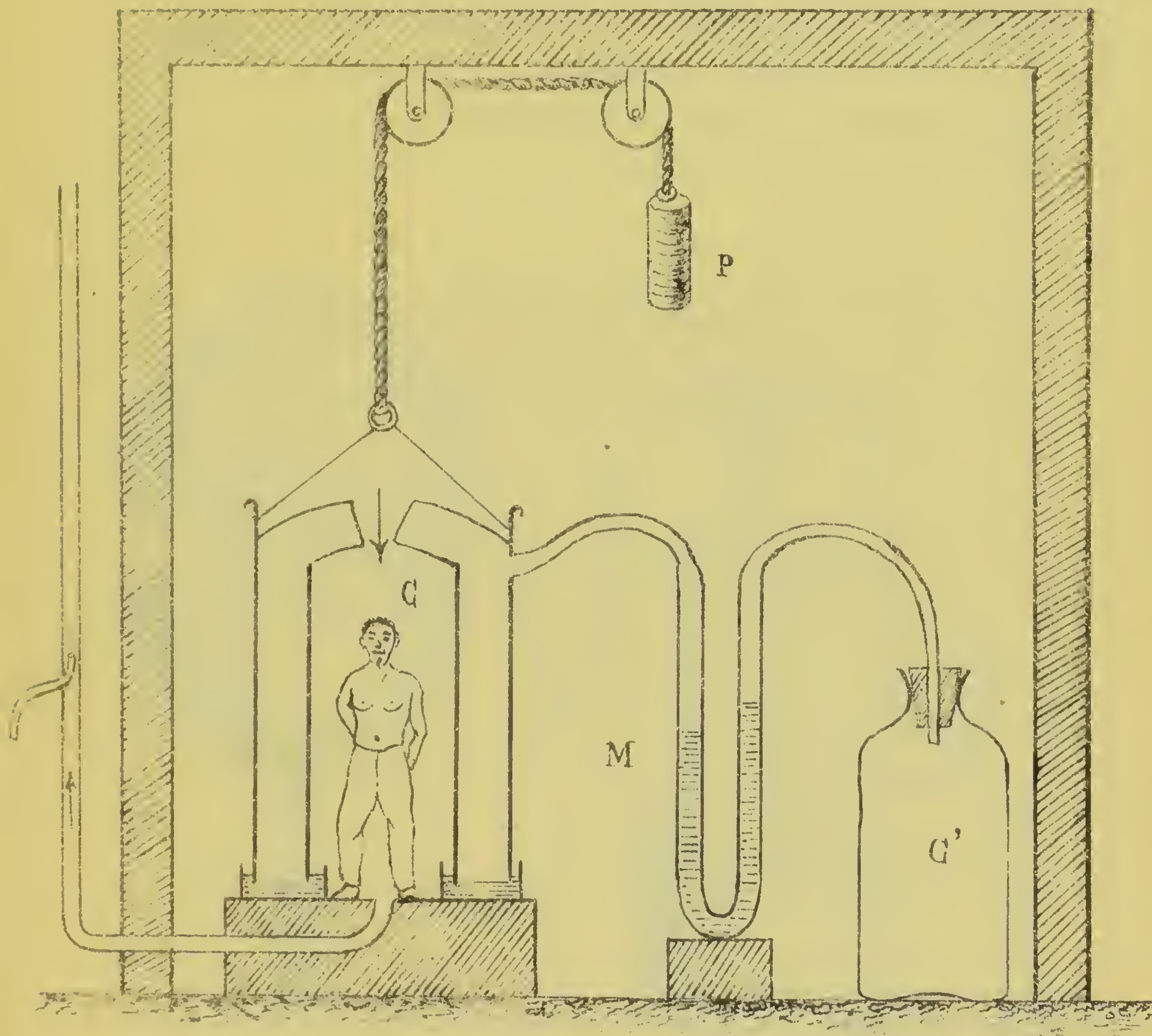
Il suffira alors d'introduire dans le calorimètre une spirale de platine soudée à deux gros conducteurs métalliques et d'évaluer l'intensité du courant qui traverse la spirale et la différence de potentiel aux extrémités de la spirale. Un rhéostat intercalé dans le circuit permettra de faire varier à volonté le dégagement de chaleur produit dans la spirale.

D'autres calorimètres à rayonnement ont été employés par dans les recherches de calorimétrie animale.

L'un d'eux, employé par M. d'Arsonval, peut s'appliquer à l'homme et c'est ce qui fait son principal intérêt. C'est en réalité un grand thermomètre à air dans lequel est enfermé l'individu en expérience. Il est entouré d'un matelas d'air dont la variation de volume et de préssion seront enregistrées par le manomètre M. Un contre-poids permet de soulever la cloche pour y introduire l'individu. Le bord inférieur de la cloche est obturé par une fermeture hydraulique.

Dans le calorimètre à rayonnement de M. Richet l'enceinte est constituée par un serpentin tubulaire en cuivre en forme de double hémisphère articulé par une charnière. Les deux serpentins sont

reliés à un tube en caoutchouc qui amène l'air dilaté à la partie supérieure d'un vase contenant de l'eau. L'air presse sur la surface du liquide et l'oblige à s'écouler dans un siphon exactement amor-



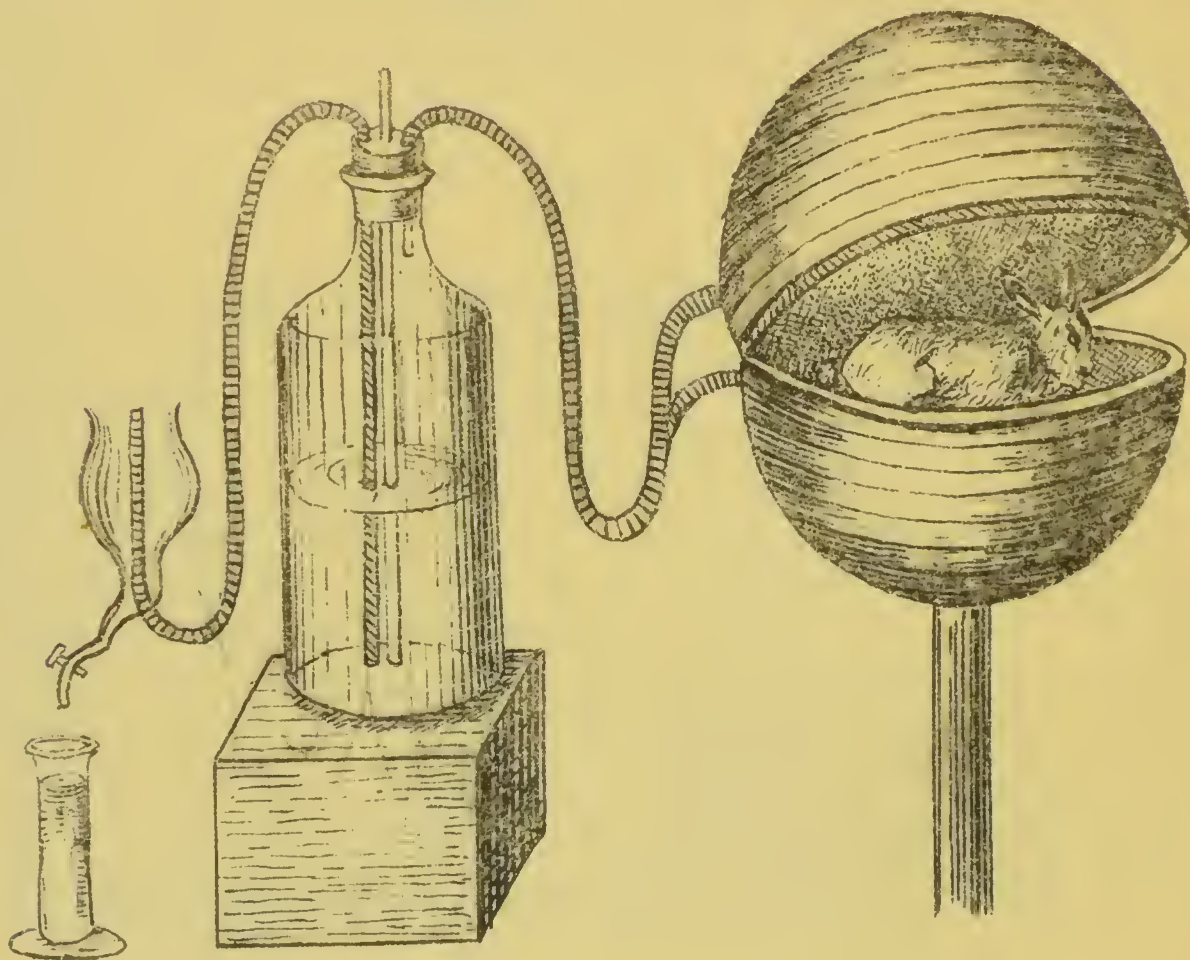
cé. Si on recueille dans une éprouvette graduée l'eau qui s'écoule, on mesure ainsi exactement la dilatation de l'air du récipient calorimétrique, dilatation qui est égale en volume à la quantité d'eau qui est tombée.

Pour graduer l'appareil, on met dans son intérieur un poids P d'eau à T ; pendant qu'elle se refroidit de T à t, un poids q d'eau s'écoule par le siphon. La quantité de chaleur cédée au calorimètre est :

$$Q = P\,(T\text{-}t).$$

L'écoulement de 1cc d'eau par le siphon correspond à une quantité de chaleur $\frac{P\,(T\text{-}t)}{q}$

Cette quantité de chaleur sera exprimée en calorie-gramme-degré.



Huitième Leçon

Résultats

Les expériences faites au moyen des divers calorimètres que nous venons de décrire ont permis de mesurer la puissance calorifique de l'homme et des animaux.

Il est utile, en calorimétrie animale, de rapporter la puissance calorifique d'une source à l'unité de poids de cette source.

Soit P (en kilogr.) le poids de l'animal.

Q (en cal.-gr.-deg.) la quantité de chaleur dégagée.

T (en heures) la durée de l'expérience.

La puissance calorifique rapportée à l'unité de poids sera :

$$\pi = \frac{Q}{PT}$$

C'est la quantité de chaleur dégagée en 1 heure par 1 kilogr. de l'animal soumis à l'expérimentation.

Les résultats obtenus sont les suivants :

ESPÈCE ANIMALE	PUISS. CALORIF. POUR 1 KIL. D'ANIMAL	ESPÈCE ANIMALE	PUISS. CALORIF. POUR 1 KIL. D'ANIMAL
Chien	π = 3200^{cal}	Cobaye	π = 6600^{cal}
Chat	= 3300	Pigeon	= 10500
Oie	= 4000	Moineau	= 36000
Canard	= 5500	Enfant	= 4000
Poule	= 5700	Homme adulte	= 1500 à 2000

Il ressort de l'examen de ce tableau que les oiseaux sont ceux de tous les animaux qui ont la plus grande puissance calorifique par unité de poids.

Ce tableau montre aussi qu'un homme de poids moyen, 70 kilog. par exemple, dégage en 1 heure une quantité de chaleur qui est *en moyenne* :

$$Q = 1800 \times 70 = 126000 \text{ cal.-gr.-deg.}$$

Cette quantité de chaleur est suffisante pour élever de 0 à 1° la température de 126000 grammes d'eau prise à 0° ou pour porter de 0 à 100° la température de 1260 grammes d'eau prise à 0°. Comme on le voit, cette quantité est voisine de 1 kilogr.

Variations de la production de chaleur. — Les chiffres précédents ne peuvent être considérés que comme des moyennes n'ayant aucune valeur absolue. Un grand nombre de circonstances influent sur la thermogénèse animale, de telle sorte que les conditions d'expérimentation ne sont pas toujours comparables. Les causes de déperdition de chaleur, quoique nombreuses et complexes, aboutissent toutes à produire des effets peu nombreux et bien définis au point de vue physique ; elles agissent en modifiant le *rayonnement* de l'animal, l'*évaporation* à la surface de sa peau, la *conductibilité* du milieu ambiant. Il en résulte que les quantités de chaleur dégagées par les animaux doivent varier avec ces causes de refroidissement de façon à les compenser.

Influence du développement de l'animal. — Dans une même espèce, la puissance calorifique rapportée à l'unité de poids varie avec le poids de l'animal.

Ce résultat a été vérifié par M. Richet sur des lapins dont les poids étaient très variables. Les expériences ont montré que la quantité de chaleur dégagée par l'animal en un temps donné ne variait pas dans le même rapport que le poids de l'animal.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

POIDS DES ANIMAUX EN GRAMMES	PUISSANCE CALORIF. PAR KILOG. EN CAL.-GRAM.-DEG.
de 2000 à 2200	π = 4700
de 2200 à 2400	3985
de 2400 à 2600	3820
de 2600 à 2800	3650
de 2800 à 3000	3570
de 3000 à 3200	3320

Vous voyez que les chiffres vont régulièrement en décroissant, de telle sorte que la *production spécifique* de chaleur va en diminuant à mesure que l'animal se développe.

M. d'Arsonval et M. Ch. Richet ont cherché s'il existait une relation entre la puissance calorifique d'un animal et la surface rayonnante de ce même animal.

L'évaluation de la surface d'un animal présente de grandes difficultés ; deux moyens ont été employés pour résoudre ce problème.

Le procédé employé par M. d'Arsonval consiste à dépouiller l'animal de sa peau, à la peser et à en découper un décimètre carré que l'on pèse aussi ; le rapport des deux pesées donnera la surface de l'animal. Cette méthode n'est pas très exacte vu la variation d'épaisseur que présente la peau aux différents points du corps.

M. Ch. Richet arrive au même résultat au moyen d'un procédé détourné très ingénieux, basé sur des considérations géométriques. Il admet qu'un lapin peut être assimilé à une sphère et que sa densité peut être approximativement représentée par l'unité.

Soit S la surface inconnue de la sphère,
R son rayon,

on a : $$S = 4 \pi R^2 \qquad (1)$$

La valeur de S sera déduite de celle de R.

Soit V le volume de la sphère.
P son poids,
D sa densité.

On sait que : $$P = V D. \qquad (2)$$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \qquad (3)$$

Or nous avons supposé que D = 1

d'où : $$P = V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

et approximativement :

$$P = 4 R^3$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{P}{4}} \qquad (4)$$

Si donc on pèse le lapin, on connaîtra P ; la relation (4) donnera R et (1) donnera S.

Exemple : Un lapin pèse 3000 gr.

$$\sqrt[3]{\frac{3000}{4}} = 9$$

$$S = 4 \times 3{,}14 \times 81 = 1017^{cq}.$$

Telle est la valeur approchée de sa surface rayonnante.

M. Ch. Richet est arrivé à ce résultat, d'ailleurs connu, que le nombre de calories fournies par l'unité de surface de l'animal est un nombre constant, c'est-à-dire que 1^{cq} de la surface d'un petit lapin perd par rayonnement autant de chaleur que 1^{cq} de la surface d'un gros. *La production spécifique de chaleur par unité de surface est constante pour une même espèce.*

Soit Q la quantité de chaleur dégagée par l'animal.
S la surface de l'animal en cent. carrés.

Soit T la durée de l'expérience,

π_s *la puissance calorifique spécifique* de l'animal, c'est-à-dire la puissance calorifique par unité de surface,

$$\text{on a : } \pi_s = \frac{Q}{ST} = \text{constante.}$$

Cette relation est confirmée par le tableau suivant :

POIDS DES ANIMAUX EN GRAMMES	PUISS. CAL. EN CAL.-GR.-DEGRÉ POUR UNE SURFACE DE 1cq
500	$\pi_s = 11,8$
2000	11,3
2500	10,8
3100	10,2

Une conséquence intéressante de ce résultat s'applique aux animaux marins homéothermes. Ils ont tous une très grosse masse, exemple : la baleine, le dauphin. Il en résulte que leur surface est faible comparée à leur poids ou à leur volume, et que la perte de chaleur qu'ils subissent par leur surface est faible. Il n'en serait pas ainsi, et ces animaux ne pourraient pas vivre dans l'eau, s'ils étaient plus petits; ils auraient à subir une perte de calorique beaucoup plus grande.

Influence de la température extérieure. — Lorsqu'on place un corps chaud dont la température est T dans une enceinte dont la température est plus basse et égale à t, le corps chaud perd de la chaleur par la surface et se refroidit progressivement jusqu'à ce que sa température devienne égale à celle de l'enceinte dans la-

quelle il est plongé. Le refroidissement du corps matériel considéré est régi par une loi physique connue sous le nom de *Loi de Newton* et qu'on énonce de la manière suivante : *La vitesse de refroidissement d'un corps chaud est proportionnelle à la différence de sa température et de celle du milieu ambiant.*

La vitesse de refroidissement est la variation de température du corps chaud pendant un temps très court pris égal à l'unité.

Si le corps considéré a une chaleur spécifique *constante* la quantité de chaleur qu'il perd pendant ce temps très court est proportionnelle à la variation de température pendant ce même temps. Dans ce cas particulier, l'énonce de la loi de Newton peut être modifié et devient : *Les quantités de chaleur perdues par un corps chaud placé dans une enceinte plus froide sont proportionnelles à l'excès de la température du corps chaud sur celle de l'enceinte.*

La loi de Newton n'est applicable que dans certaines limites. Ces limites ont été déterminées par l'expérience et on a trouvé que les excès de température considérés ne devaient pas dépasser 30° et que la température du corps chaud ne devait pas dépasser 60° pour que la loi put être appliquée.

Ces limites sont suffisamment étendues pour qu'on puisse appliquer la loi de Newton aux animaux homéothermes placés dans les conditions ordinaires de température, mais on doit éliminer comme champs d'expérience les zones glaciales pour lesquelles on a souvent [illegible] = 80°.

L'application de la loi de Newton aux animaux homéothermes doit amener au résultat suivant : *Un animal doit perdre d'autant plus de chaleur, toutes les autres circonstances restant constantes, qu'il est placé dans un milieu dont la température est plus basse.*

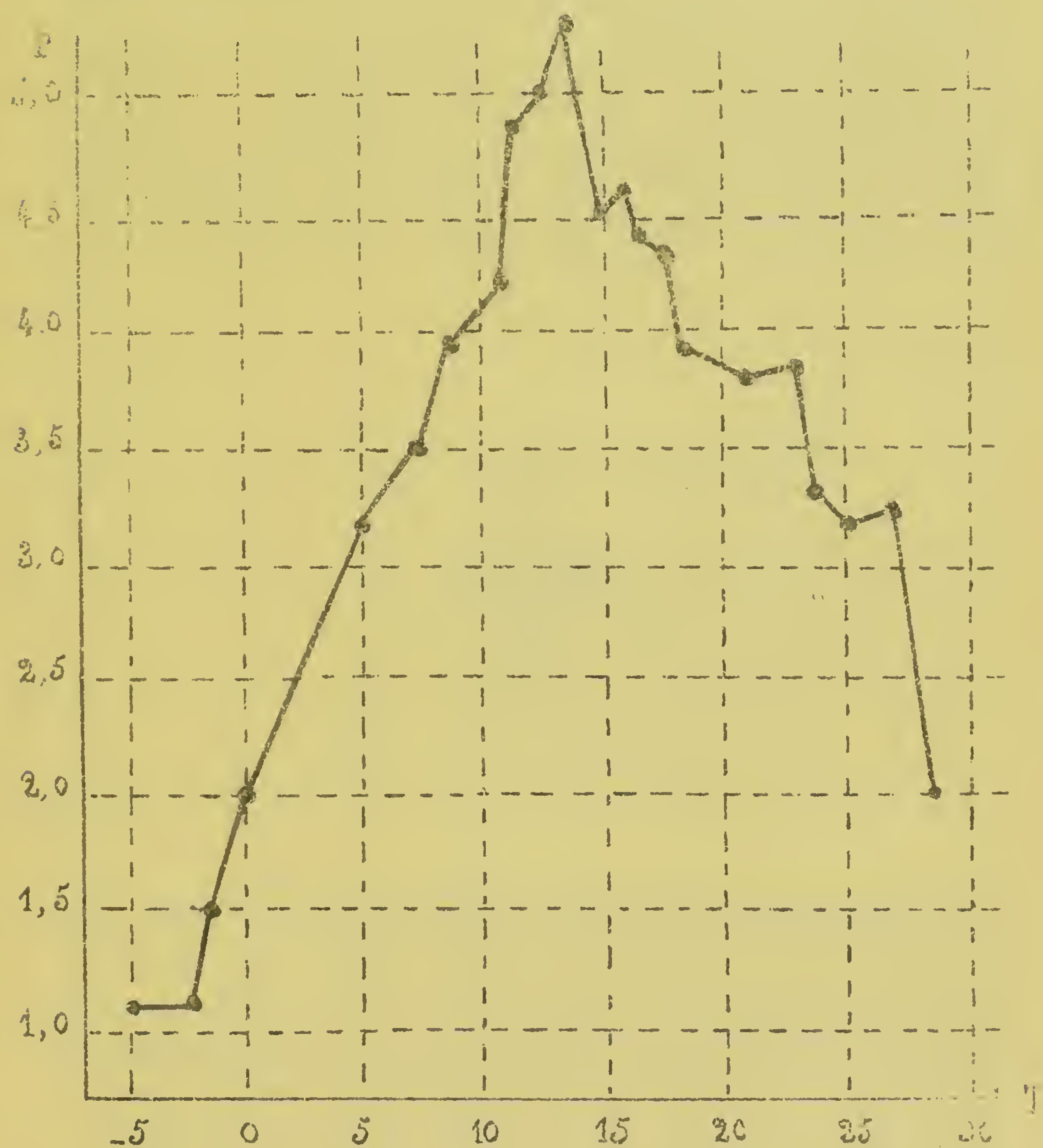
M. d'Arsonval a le premier cherché à vérifier expérimentalement cette considération théorique établie pour les corps bruts. Il a trouvé que la loi s'appliquait aux températures voisines de 15°, mais ne s'appliquait ni aux températures élevées ni aux températures basses.

Les recherches de M. Ch. Richet ont confirmé celles de M. d'Arsonval ; elles ont porté sur des lapins. Le résultat de ces recherches a été résumé par l'auteur dans le tableau suivant, qui indique

en ordonnées les quantités de chaleur en calories-gramme-degré, et en abscisses les températures extérieures.

On voit que la quantité de chaleur dégagée par l'animal est *optima* lorsque la température extérieure est voisine de 14°.

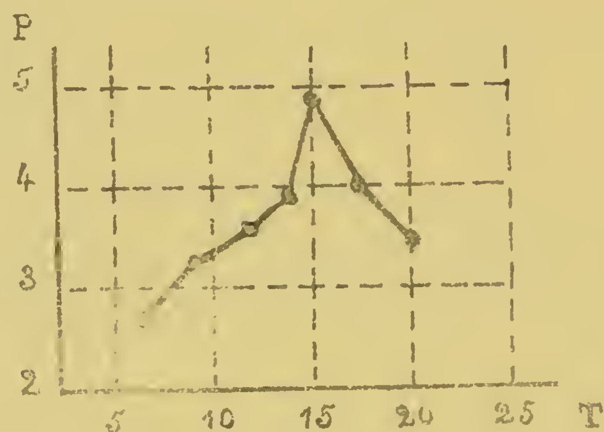
En expérimentant sur un enfant, M. Richet a trouvé une température optima voisine de 18°.



M. Sigalas a confirmé les résultats de M. Richet. En expérimentant sur un lapin du poids de 2 kilogr. 8, il a obtenu les résultats

résumés dans la courbe ci-dessous. D'après les expériences de M. Sigalas la température optima est voisine de 15° pour le lapin adulte.

En résumé on voit que la loi de Newton semble n'être applicable aux êtres vivants qu'à partir d'une certaine température, variable avec les espèces, et pour un petit nombre de degrés au-dessus de cette température. Comment expliquer cette dérogation à une loi physique ? En réalité ce n'est là qu'une dérogation apparente, comme toutes celles que l'on peut constater à propos des phénomènes physiques des êtres vivants ; on applique la loi dans des conditions où elle n'est pas applicable, il n'est donc pas étonnant que les résultats fournis par l'expérience soient contradictoires. Dans le cas particulier qui nous occupe il en est ainsi.



A mesure que la température du milieu baisse autour de l'animal en expérience, et à partir d'une certaine température de ce milieu, un phénomène physiologique intervient, qui, par une constriction vasculaire périphérique, diminue l'afflux du sang à la surface rayonnante. Il en résulte un abaissement de la température de cette surface. Grâce à ce refroidissement superficiel, l'excès de la température de l'animal sur celle du milieu est diminué au lieu d'être augmenté, la production de chaleur ou la perte de chaleur doit donc diminuer comme l'indique la loi de Newton.

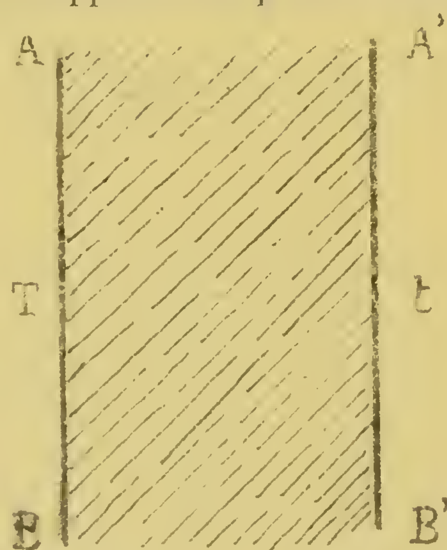
Cette loi ne s'applique donc aux êtres vivants qu'à la condition de calculer l'excès de la température de l'animal sur celle du milieu en prenant pour température de l'animal non pas sa température normale physiologique, mais bien celle de ses téguments en contact avec le milieu, et cela au moment de l'expérience.



Neuvième Leçon

Résultats (*Suite*)

Influence des téguments. — Nous avons vu en étudiant la théorie du mur de Fournier que lorsque les deux faces AB, A'B' de ce mur étaient maintenues à des températures différentes T et t, la quantité de chaleur qui le traversait pendant l'unité de temps était d'autant plus petite que son épaisseur était plus grande et sa conductibilité calorifique faible. Les poils, les plumes, les fourrures, les vêtements sont des appareils de protection au moyen desquels les



animaux et l'homme protègent la surface de leur corps contre les pertes de chaleur. On a classé tous les animaux d'après l'épaisseur

et la conductibilité de la couche isolante formée par leur peau et les téguments qui la recouvrent et on a formé les quatre séries suivantes :

1° Animaux à peau nue.

2° Animaux à fourrure maigre.

3° Animaux à fourrure épaisse.

4° Animaux à fourrure très épaisse (plumes).

Si on compare les puissances calorifiques par unité de surface des animaux appartenant à ces diverses séries on trouve qu'elles vont en diminuant à mesure qu'on s'adresse à une série mieux protégée par sa fourrure.

Les observations de M. Ch. Richet sont très démonstratives ; il a opéré sur des enfants nus et sur divers animaux, ses résultats sont résumés par le tableau suivant :

Enfant nu	τ_s	= 16,2
Chien		= 14,2
Chat		= 11,5
Oie		= 10,5

Les températures centrales de ces animaux étant :

Chien	T	= 39°
Chat		= 39°
Oie		= 41°7

La comparaison de ces résultats montre que plus la température centrale d'un animal est élevée, plus sa fourrure doit être épaisse et sa protection efficace ; il y a là une véritable compensation. C'est ainsi que l'oie, dont la température centrale est plus élevée que celle du chien, est mieux protégée que ce dernier contre les pertes de chaleur.

La variation du pouvoir émissif de la surface rayonnante a aussi une certaine influence sur la quantité de chaleur produite par un animal. On appelle *pouvoir émissif* d'une surface la quantité de chaleur qu'émet l'unité de cette surface dans une direction normale pendant l'unité de temps ; la valeur de ce pouvoir émissif varie d'une substance à l'autre ; elle est très grande pour le noir de fumée, le blanc de céruse, la gomme laque, très petite au contraire pour l'acier poli, l'or en feuilles, l'argent bruni. M. d'Arsonval a

tenté sur l'homme la détermination du pouvoir émissif de la peau ; ayant mesuré à diverses reprises la quantité de chaleur émise par 5^{cmq} de peau humaine vivante, il a trouvé que les chiffres obtenus différaient très sensiblement du simple au double. On en doit conclure que la sécrétion cutanée ou toute autre cause physiologique modifie dans une large mesure le pouvoir émissif de la peau.

On peut montrer expérimentalement que la déperdition de chaleur subie par un animal est due à la conductibilité de ses téguments et au pouvoir émissif de sa surface. Pour cela il suffira de prendre un lapin et de raccourcir graduellement sa fourrure, ou de l'enduire d'un vernis quelconque qui colle ses poils ; on constate alors que cet animal produit ou perd une quantité de chaleur beaucoup plus grande qu'avant l'opération.

M. d'Arsonval, expérimentant sur un lapin, a trouvé que la quantité de chaleur dégagée était par kilo et par heure.

Lapin intact : $Q = 1800^{cal}$

Lapin rasé : $Q = 3500^{cal}$

M. Ch. Richet a obtenu les résultats suivants :

Lapin intact : $Q = 3320^{cal}$

Lapin tondu : $Q = 4620^{cal}$

Ces expérimentateurs ont enduit d'une couche d'huile ou de glycérine les poils de l'animal de façon à faire disparaître la couche d'air adhérente aux poils et à les agglutiner en couche compacte ; ils ont trouvé :

Cobaye intact : $Q = 5500^{cal}$

Cobaye glycériné : $Q = 11500^{cal}$

Si on laisse longtemps ces animaux en pareil état, ils essayent de lutter contre la déperdition de chaleur par une augmentation des combustions intérieures, ils maigrissent, même en mangeant beaucoup, puis ils meurent de froid.

La température d'un lapin étant 39°6 cet animal a été huilé et on l'a gardé sans l'alimenter.

Au bout de	5 h.	sa tempre était	36°8.
—	24 h.	—	22°8.

La température a continué à baisser, est devenue incompatible avec la vie et l'animal est mort de froid.

Il existe des animaux homeothermes dont la température est assez élevée, qui n'ont pas de fourrure et qui dégagent peu de chaleur. Leur tégument épidermique est remplacé par une couche de graisse hypodermique qui joue le rôle de corps isolant ; de plus ces animaux sont assez gros. Certains chiens connus sous les noms de chiens chinois, chiens de Constantinople, appartiennent à cette catégorie. Leur fourrure est très maigre et formée de poils longs, fins, peu nombreux. En revanche ils sont très gras.

En résumé, on peut dire qu'on ne conçoit pas l'existence d'un animal petit, à fourrure maigre et à température élevée.

Les souris, dont le poids moyen est voisin de 25 gr., ont une fourrure parfaite ; leurs poils sont fins, nombreux, assez longs ; ces animaux ne vivent guère à l'extérieur.

Les oiseaux-mouches ne pèsent pas plus de 10 à 12 gr. et ont une température très élevée. Leur fourrure très soyeuse et très épaisse les a fait comparer à de véritables boules de plume.

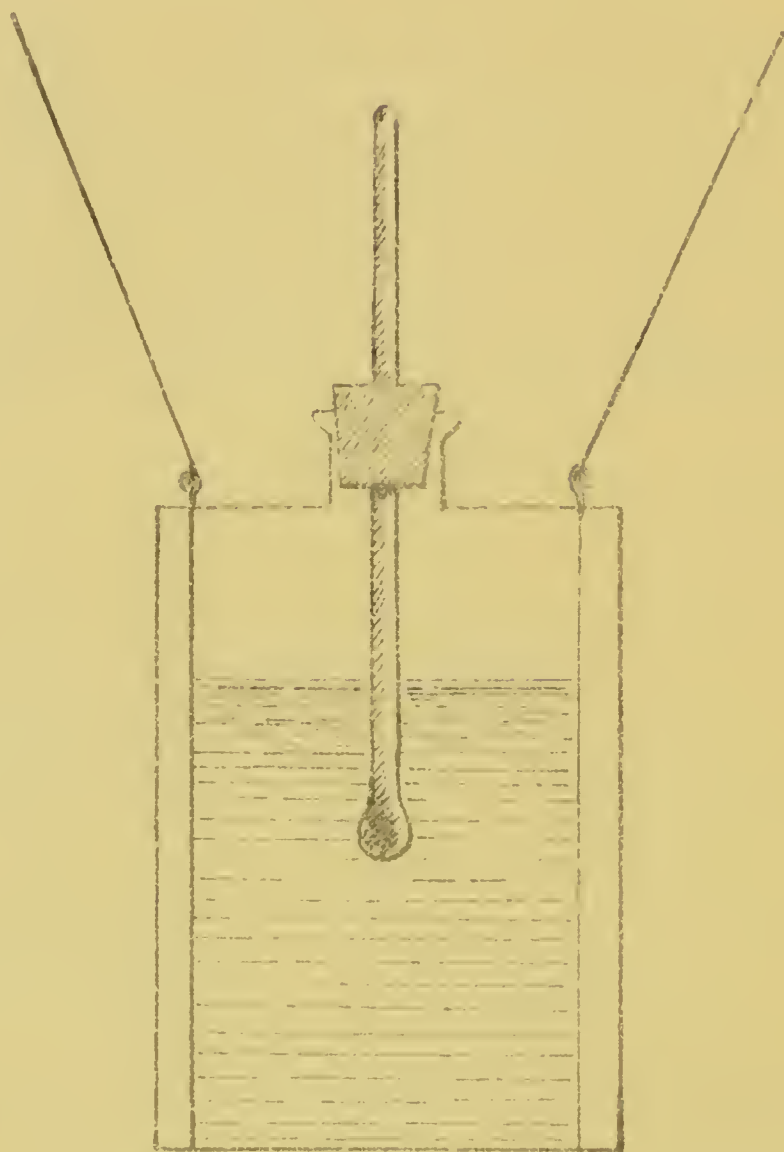
Les jeunes animaux, non encore recouverts de fourrures, sont réunis dans un nid et protégés par leur mère ; ils ne quittent leur nid que lorsqu'ils sont recouverts d'un tégument suffisamment isolant pour leur permettre de lutter contre les causes de refroidissement.

Utilité des vêtements. — L'homme, mal protégé par sa peau contre le rayonnement de la chaleur a dû se recouvrir de vêtements pour se faire une fourrure artificielle. Les vêtements diminuent le pouvoir émissif de la peau et mettent une barrière entre l'individu et le milieu extérieur. Un bon vêtement doit avoir un faible pouvoir émissif et une faible conductibilité calorifique.

L'étude des vêtements considérés comme agents protecteurs contre le froid a d'abord été faite par le Dr Coulier, ancien professeur au Val-de-Grâce.

Le dispositif expérimental du Dr Coulier se compose d'un vase de laiton mince, cylindrique, suspendu par trois cordons de soie dans un milieu dont l'air était tranquille. Ce vase avait 14 centim. de hauteur, sa base avait 6 cent. 9 de diamètre, il contenait 500cmc

d'eau. Son couvercle était percé d'un trou dans lequel passait un thermomètre très sensible dont la boucle se trouvait au centre de l'appareil



Pour faire une expérience, on commençait par remplir le vase avec de l'eau dont la température était supérieure de 50° à celle de l'air ambiant, puis on recouvrait la surface cylindrique du vase calorimétrique avec un manchon fait avec l'étoffe à étudier.

Cela fait on laissait baisser la température de l'eau contenue dans le vase et lorsqu'elle était supérieure de 40° à celle du milieu ambiant on observait à l'aide d'une montre à secondes le temps que l'appareil mettait pour se refroidir de 5°.

L'excès de 40° au-dessus de la température ambiante a été choisi avec discernement par M. Coulier. En effet, l'excès moyen de la température de l'eau sur celle de l'air extérieur pendant l'expérience était de 37°5 ; c'est précisément la température à laquelle est portée la face interne de l'étoffe lorsque celle-ci est transformée en vêtements pour l'homme.

Les différentes étoffes étudiées sont celles devant servir aux vêtements du soldat français.

Les résultats obtenus sont les suivants :

ÉTOFFES	DURÉES DU REFROIDISSEMENT
Vase non recouvert	0h 18m 12s
Toile de coton pour chemises	0, 11 30
Toile de chanvre pour doublures	0, 11 25
Toile de coton » »	0, 11 15
Drap bleu foncé pour tuniques	0, 14 45
Drap garance pour pantalons	0, 14 50
Drap bleu clair pour capotes	0, 15 5

Hammond, qui a répété à Philadelphie les expériences de Coulier, a trouvé des chiffres analogues.

On peut tirer de ces expériences cette conclusion, que parmi les matières vestimentaires employées, il en est qui se laissent traverser très facilement par la chaleur et ont un pouvoir émissif considérable, ce sont les toiles de coton et de chanvre ; d'autres au contraire ont un pouvoir émissif assez faible et une conductibilité médiocre, ce sont les draps, quelle qu'en soit la couleur.

L'influence de la couleur des étoffes a été aussi étudiée par Coulier. Comme on devait s'y attendre, et comme Leslie et Melloni

l'avaient déjà observé pour d'autres substances, la couleur n'a aucune influence sur le pouvoir émissif d'une étoffe, toutes les autres conditions restant les mêmes. Ainsi donc, de même que le noir de fumée et le blanc de céruse ont le même pouvoir émissif d'après les expériences de Leslie, de Melloni et de Tyndall, de même les étoffes de couleur blanche ou bleue ont le même pouvoir émissif.

Nous ne devons pas nous étonner non plus de voir dans les expériences de Coulier le vase de laiton se refroidir plus lentement que lorsqu'il est recouvert des étoffes expérimentées ; c'est qu'en effet les métaux laminés et polis ont un très faible pouvoir émissif.

De la Provostaye et Desains ont trouvé que si on représente par 100 le pouvoir du noir de fumée,celui du cuivre en lames est représenté par 4,9.

Les expériences de Coulier ont également porté sur les vêtements considérés comme agents protecteurs contre la chaleur. Les étoffes à étudier recouvraient une éprouvette contenant du mercure dans lequel était plongé le réservoir d'un thermomètre sensible. On exposait le tout aux rayons solaires directs et on notait l'élévation de température du thermomètre au bout d'un certain temps toujours le même. Dans ces conditions, Coulier a trouvé :

ÉTOFFES	TEMPÉRATURE	DIFFÉRENCE
Tube non recouvert	37°5	»
Tube recouvert de coton pour chemises	35°1	− 2°4
Tube recouvert de coton pour doublures	35°5	− 2°
Tube recouvert de chanvre écru	39°6	+ 2°1
Tube recouvert de drap bleu foncé	42°	+ 4°5
Tube recouvert de drap garance	42°	+ 4°5
Tube recouvert de drap bleu clair	42°5	+ 5°

On voit que dans ces conditions les tissus de coton et de chanvre sont meilleurs protecteurs contre les rayons solaires directs que les draps de laine. Ces derniers ne permettent pas de lutter avantageusement contre les fortes chaleurs (1).



(1) Voir pour plus de détails : MORACHE. *Traité d'hygiène militaire.*

Dixième Leçon

Production du froid par les êtres vivants

Lorsqu'un animal homéotherme est en rapport avec un milieu dont la température est inférieure à la sienne il empêche sa température de s'abaisser et la maintient constante en produisant de la chaleur. Il produira d'autant plus de chaleur que la température ambiante sera plus éloignée de la sienne.

Lorsque la température du milieu extérieur est égale à celle de l'animal, celui-ci devrait cesser totalement de produire de la chaleur, mais comme il ne peut pas anéantir complètement les réactions vitales qui se produisent dans son organisme, il ne fait que diminuer leur intensité et sa température doit s'élever de plus en plus.

Il en est de même lorsque l'animal est placé dans un milieu dont la température est supérieure à la sienne.

Or l'expérience prouve que les animaux homéothermes conservent même à des températures élevées la propriété de maintenir leur température constante ; il est évident qu'ils ne peuvent obtenir ce résultat qu'en dissipant de la chaleur de façon à contrebalancer les causes d'échauffement auxquelles ils sont soumis.

Plusieurs moyens peuvent être employés par les animaux pour

produire cet effet. Parmi les moyens de dissipation de la chaleur il y a lieu d'examiner *le rayonnement, la conductibilité, la convection, la transformation d'énergie calorifique en énergie mécanique, électrique, moléculaire* (liquéfaction des solides, vaporisation des liquides).

Lorsque l'animal est plongé dans un milieu dont la température est supérieure ou égale à la sienne il ne peut perdre de chaleur ni par rayonnement, ni par conductibilité, ni par convection parce que ces trois effets auraient pour but de l'échauffer au lieu de le refroidir.

Les transformations d'énergie calorifique en énergie sous forme mécanique, électrique, etc., sont impossibles parce qu'il n'est adjoint à l'animal homéotherme aucun transformateur approprié à ces transformations d'énergie.

La fusion des solides, la volatilisation des liquides se font en absorbant de la chaleur sous forme latente, insensible au thermomètre. Les animaux ne possèdent pas de corps solide pouvant passer à l'état liquide, mais ils renferment des substances liquides qui peuvent être vaporisées sur leur surface rayonnante ; cette vaporisation dissipe de la chaleur et sert de régulateur thermique à l'animal homéotherme.

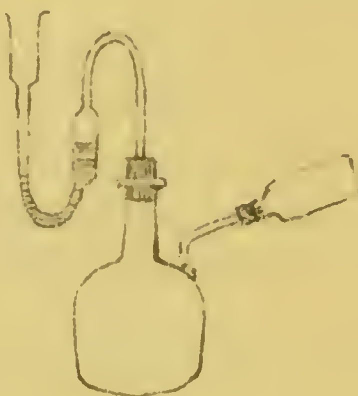
Le mécanisme du refroidissement du corps des animaux et de la régulation de leur température n'est connu que depuis les travaux de Franklin (1758). En 1789, Lavoisier reprit l'idée de Franklin et l'exprima d'une façon très nette : « La machine animale est principalement gouvernée par trois facteurs principaux, la respiration qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui produit du calorique, la transpiration qui augmente ou diminue, suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique, enfin la digestion qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration ».

Willam Edwards, dans un ouvrage intitulé : *Influence des agents physiques sur la vie* (1820), dit que l'évaporation à la surface est le principe de la régulation thermique des animaux.

Conditions de l'évaporation

Puissance de ce moyen d'absorption

L'évaporation des liquides, c'est-à-dire le passage lent de l'état liquide à l'état gazeux, se fait en absorbant des quantités de chaleur qui sont très grandes. Quelques gouttes d'éther répandues sur le réservoir d'un ballon muni d'un tube manométrique suffisent pour mettre le phénomène en évidence.



La quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser à $t°$ un kilogr. d'eau pris à $t'°$ a pour expression en calorie-kilog.-degré :

$$q = 606{,}5 + 0{,}305\,t - t'$$

Quand l'évaporation se produit à la surface du corps d'un animal la température initiale t' du liquide qui sort de l'organisme est la même que la température t à laquelle se produit l'évaporation, on a:

$$q = 606{,}5 + 0{,}305\,t - t$$

d'où $$q = 606{,}5 - 0{,}695\,t.$$

Si on donne à t la valeur moyenne $t = 40°$, on aura :

$$q = 606{,}5 - 0{,}695 \times 40 = 578^{\text{cal}}$$

On peut dire, approximativement, que l'évaporation de 1 kilogr. d'eau à la surface de la peau d'un animal absorbe de 575 à 589 cal.

Si M est la quantité d'eau évaporée à la surface de l'animal en un

jour, la quantité totale de chaleur dissipée par l'animal dans le même temps a pour expression :

$$Q = Mq$$

Pour évaluer la perte de poids subie par un animal, un lapin par exemple, en un temps donné, il suffit de le placer sur une balance assez sensible ; au bout d'une heure on observe une notable diminution de poids. Elle est due à la perte de vapeur d'eau par évaporation à la surface cutanée et à la surface pulmonaire de l'animal.

Au niveau de la muqueuse pulmonaire, l'évaporation de la vapeur d'eau se produit toujours ; il n'en est pas de même à la surface cutanée où elle est subordonnée à l'existence des glandes sudoripares qui font défaut chez un certain nombre d'animaux, principalement chez les animaux à fourrure, tels que les chiens, lapins, chèvres, souris. Les glandes sudoripares sécrètent et répandent à la surface cutanée de l'animal un liquide appelé sueur, constitué en très grande partie par de l'eau et dont la composition est :

Eau	990
Matières organiques	7,58
Sels	2,66

Chez les animaux dépourvus de glandes sudoripares, la peau est toujours sèche et l'évaporation produisant le refroidissement est uniquement produite à la surface des poumons.

Chez l'homme et chez les animaux pourvus de glandes sudoripares, il y aura production de froid par l'évaporation pulmonaire et cutanée ; le rapport de ces deux quantités est appelé *coefficient de partage thermique*.

Le phénomène que nous étudions est soumis aux lois physiques de l'évaporation. Il est influencé par *l'état hygrométrique de l'air ambiant, par sa température, par les mouvements de l'atmosphère.*

L'évaporation est d'autant plus rapide que l'état hygrométrique de l'air est plus faible. L'hygromètre de Grehant qui se prête à la détermination de l'état hygrométrique de l'air expiré montre que, chez l'homme, l'air expiré est saturé de vapeur d'eau à la température de 35°.

L'évaporation cutanée sera beaucoup plus active dans une atmosphère sèche que dans une atmosphère humide.

L'influence de la température extérieure est très grande. Funke a

fait une expérience au cours de laquelle il séjournait au soleil, puis à l'ombre pendant un temps donné. Il a subi dans les deux cas des pertes de poids variant dans le rapport de 36 à 25.

Les mouvements de l'air exagèrent aussi l'évaporation à la surface du corps des êtres vivants. Tout le monde sait que le linge mouillé se sèche plus facilement lorsqu'il est exposé à l'action du vent et qu'on obtient rapidement le refroidissement d'un liquide enfermé dans un alcaraza en faisant balancer ce récipient dans l'air à la façon d'un pendule (alcaraza pendule). Funke, placé dans un appartement dont la température était voisine de 20°, a observé, sur lui, les pertes de poids suivantes, en une heure :

En faisant des mouvements	modérés,	il perdait	3 gr. 120
» » »	violents,	»	4 gr. 555
» » »	très violents,	»	10 gr. 619

Au soleil, à une température de 27°, il a trouvé que :

En faisant des mouvements	modérés,	il perdait	28 gr. 574
» » »	violents,	»	36 gr. 410

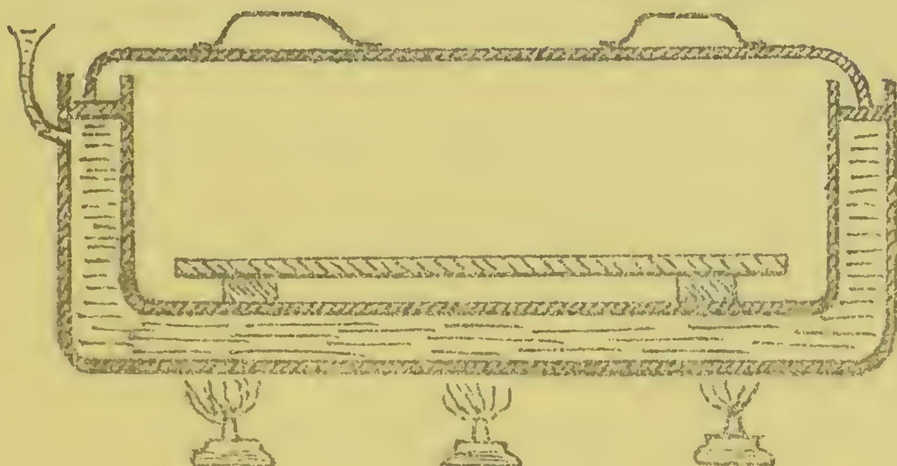
La quantité d'eau perdue par évaporation dépend d'un certain nombre de facteurs tels que la quantité de boisson absorbée avant l'expérience, la quantité d'urine émise, la tension artérielle, etc.

Un homme pesant 60 kilogr. peut perdre en moyenne 1000 gr. d'eau à la surface cutanée et 400 ou 500 gr. à la surface pulmonaire en 24 heures, ce qui fait une moyenne totale de 65 gr. à l'heure.

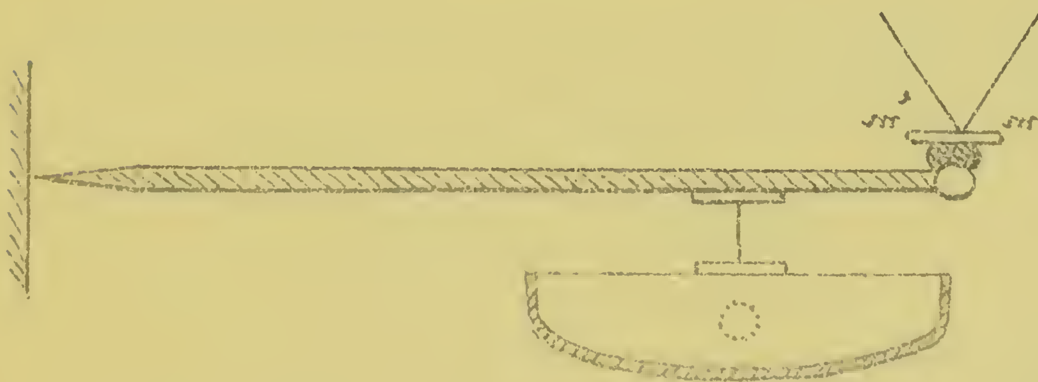
Ce chiffre atteint quelquefois [illegible]00 gr. et même [illegible]00 gr. Le professeur Bergonié a observé un cycliste qui, tournant sur une piste, a évaporé jusqu'à 975 gr. d'eau en 1 heure.

Les animaux qui n'ont pas de glandes sudoripares ne peuvent dissiper de la chaleur qu'en produisant une évaporation active à leur surface pulmonaire. Parmi ces animaux, celui qui se prête le plus facilement à l'expérimentation est le chien. Dans les conditions ordinaires le chien respire de 25 à 30 fois par minute ; si on l'introduit dans une atmosphère chaude, il règlera ses mouvements respiratoires de telle sorte que la quantité de chaleur dissipée par évaporation soit suffisante pour empêcher sa température propre de s'élever. Introduit dans une étuve à 50° dont la figure ci-après représente la disposition, l'animal peut présenter jusqu'à 430 mouvements thoraciques à la minute. On dit alors qu'il est en *polypnée*

(Ch. Richet) pour exprimer qu'il y a exagération de la fréquence des mouvements respiratoires.



Pour produire l'inscription graphique de ce phénomène on fixera sur la paroi thoracique de l'animal soit un pneumographe, soit un cardiographe communiquant au moyen d'un tube en caoutchouc avec un tambour inscripteur à levier muni d'une plume qui frot-

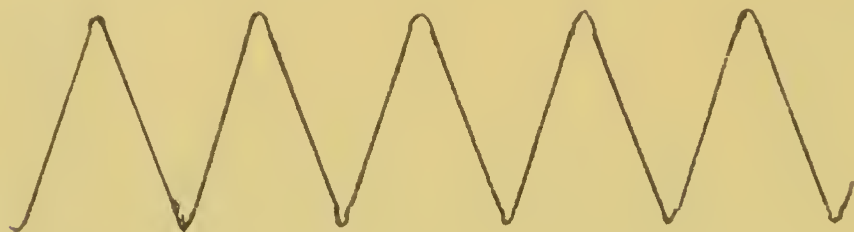


Tambour inscripteur avec miroir collé en m m'

tera contre le papier enfumé d'un cylindre tournant. On obtiendra ainsi le graphique des mouvements respiratoires et on pourra con-

naître leur fréquence. Les figures ci-dessous se rapportent à la respiration ordinaire et à la polypnée.

Il suffira de coller contre le levier du tambour inscripteur un miroir trés léger pour pouvoir projeter les mouvements qu'il





exécute et pour donner à l'expérience une forme très brillante (le miroir doit être placé tout près de l'axe de rotation si on veut éviter ses mouvements de translation).

Mécanisme du refroidissement

Nous venons de voir que le refroidissement se produisait à la surface cutanée et à la surface pulmonaire des êtres vivants. Le sang refroidi aux points où a lieu l'évaporation se propage dans les diverses parties de l'organisme et on peut dire que c'est par convection que le froid se propage de l'extérieur à toute l'économie.

La sudation est une fonction physiologique qui admet comme régulateur le système nerveux. Sous l'influence du système nerveux les glandes sudoripares entrent en fonction et produisent la

sudation. L'évaporation se produira ensuite d'après les conditions physiques que nous venons d'étudier.

Un certain nombre d'influences réflexes produisent la sudation. Un exemple en est donné par les sueurs froides qui se produisent quelquefois dans la syncope.

NOTE. — Voir pour de plus amples renseignements au point de vue physiologique l'important et savant article SUEUR de M. François Franck dans le *Dictionnaire encyclopédique*.

Onzième Leçon

Thermodynamique animale[1]

Dans les leçons qui précèdent nous avons considéré l'animal comme une source de chaleur et nous avons indiqué comment on pouvait mesurer sa température et déterminer sa puissance calorifique. Nous allons maintenant le considérer comme une source de travail mécanique.

Les physiciens et les mécaniciens sont arrivés à admettre que lorsque du travail apparait dans un organe d'une machine, il disparaît par ce fait même, dans un autre organe de la même machine, soit du travail mécanique, soit de la chaleur, soit du courant électrique, de la force vive, etc..., suivant la nature des organes de la machine.

Si, en particulier, on considère une machine thermique et qu'on mesure d'une part la quantité de travail apparue et d'autre part la quantité de chaleur disparue pendant le même temps par le fonctionnement de la machine, on trouve un rapport constant et invariable entre ces deux quantités. C'est *le principe de l'équivalence* formulé pour la première fois par J.-R. Mayer, médecin, à Heilbronn. Chose assez curieuse à constater pour nous, c'est en réflé-

chissant à certains faits de sa pratique médicale que Mayer parvint à entrevoir le premier principe de la thermodynamique, et c'est sur le moteur animé, le plus complexe et le moins abordable pour une vérification expérimentale, que fut soupçonnée la transformation de la chaleur en travail.

Nous allons d'abord examiner quelle est l'influence de la production de travail chez l'animal sur sa production de chaleur.

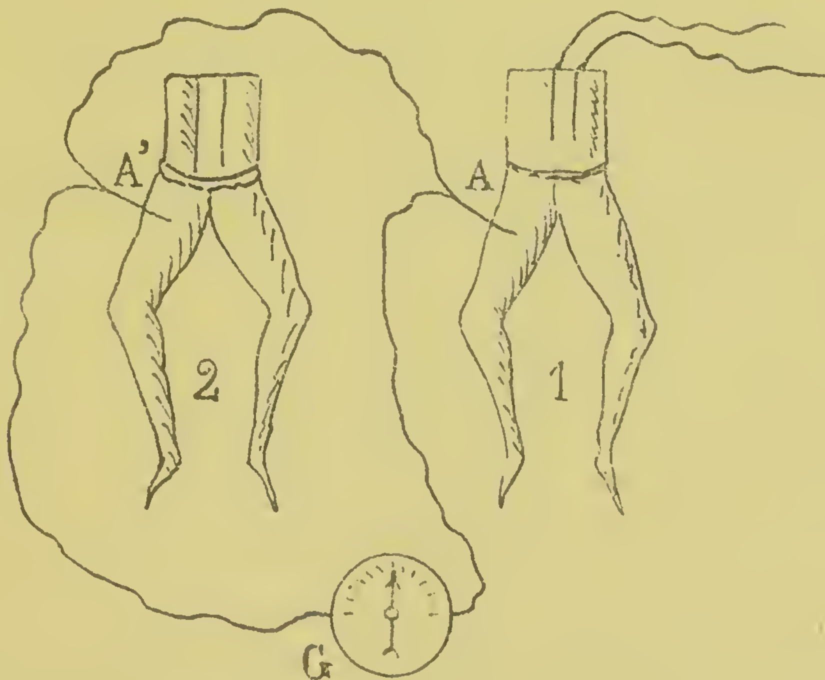
Influence du travail musculaire sur la température.

La contraction musculaire est l'une des causes les plus importantes de la variation dans la production de chaleur chez l'animal.

Becquerel et Breschet ont constaté chez l'homme une déviation galvanométrique de 0°5 après des efforts énergiques exercés par le muscle biceps dans lequel ils avaient enfoncé une aiguille thermo-électrique.

Davy avait fait la même constatation ; plus tard Helmholtz et Jürgensen l'ont confirmée.

Pour démontrer le fait, Cl. Bernard s'est servi du dispositif suivant : on prend deux trains postérieurs de grenouilles galvanosco-



piques et on enfonce dans une cuisse de chacun des trains une aiguille thermo-électrique A, A' ; le galvanomètre G indique une égalité de température. Au moyen d'un courant faradique ne pouvant pas agir par dérivation sur le galvanomètre, on excite les nerfs lombaires de l'un des trains ; de fortes contractions s'en suivent et le galvanomètre indique une élévation de température du côté contracturé.

Si on recommence la même expérience après que les muscles ont perdu leur excitabilité, l'aiguille du galvanomètre ne bouge pas.

Les effets que l'on obtient en tétanisant un animal par des courants faradiques intenses dirigés sur sa moelle, confirment l'expérience de Cl. Bernard. C'est de cette façon que Fick, Billroth, Ch. Richet ont pu observer sur les animaux soumis à cette électrisation, une élévation de la température physiologique qui dépassait 5° C ; Wunderlich a observé le même fait chez l'homme atteint de tétanos traumatique.

Au point de vue physique l'expérience de Cl. Bernard ne nous apprend rien, pas plus que les constatations d'élévation de température à la suite de tétanos provoqué physiologique ou pathologique. La même expérience répétée par Béclard est plus démonstrative au point de vue du rapport que peuvent avoir entre eux le développement de la chaleur et la production de travail chez l'animal.

Sur une même grenouille galvanoscopique et avec le même courant faradique, Béclard excite les deux muscles gastrocnémiens ; il empêche le raccourcissement de l'un d'eux en le fixant, tandis qu'il laisse l'autre soulever un certain poids par sa contraction. Dans ces conditions, si l'on prend la température des deux muscles au moyen du dispositif thermo-électrique ordinaire, on trouve que la température du muscle qui soulève le poids est inférieure à celle du muscle dont on a empêché le raccourcissement. Comme il n'existe entre les deux muscles que cette seule différence, à savoir que la contraction de l'un d'eux a développé un travail mécanique positif (ce travail est mesuré par le produit du poids soulevé par la hauteur à laquelle il a été porté), tandis que l'autre s'est contracté sans produire aucun travail mécanique, on en conclut qu'un muscle

qui se contracte en produisant du travail dégage moins de chaleur qu'un muscle qui se contracte sans en produire et qui est, suivant l'expression consacrée, à l'état de *contraction statique*.

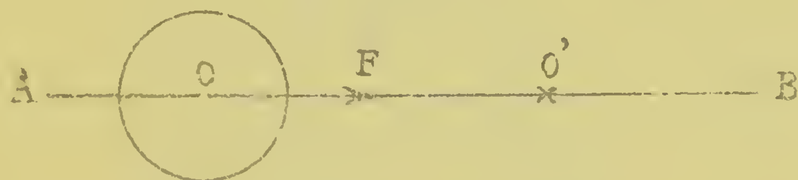
Cette conclusion a été vérifiée directement sur l'homme par les expériences de Béclard (1860). Ces expériences ont fait assez de bruit dans la science pour que nous essayions de les répéter, au moins grossièrement, devant vous.

Il est utile, auparavant, de définir et de généraliser la notion de travail mécanique.

Considérons un corps matériel entièrement libre, dont le centre de gravité O est sollicité dans la direction O B par la force OF. Pendant le temps t le point O se déplacera de O en O'. Le travail effectué pendant ce temps est mesuré par le produit de la force F par le déplacement O O' du point d'application de la force.

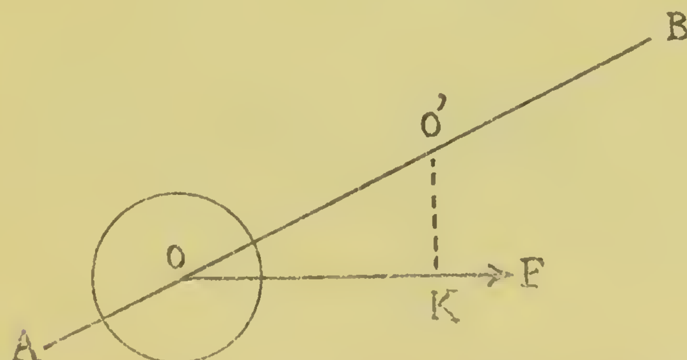
Soit T ce travail, on aura :

$$T = F \times OO' \quad (1)$$



Supposons en second lieu que le corps matériel ne puisse se déplacer que dans une direction AB faisant avec OF un certain angle. Pendant le déplacement O O' le travail de la force F sera égal au produit de cette force par la projection du déplacement sur la direction de la force.

$$T = F \times OK. \quad (2)$$



Considérons enfin le cas où le mobile est astreint à se mouvoir dans la direction directement opposée à celle de la force F. Dans

ce cas, le chemin parcouru O O' est en sens inverse de la direction de la force ; c'est un chemin négatif.

$$T = F \times (-OO') = -F \cdot OO' \quad (3)$$

Le travail T est négatif.



Expériences de Béclard. — Un expérimentateur, assis sur une chaise, tenait dans ses mains les extrémités d'une corde, réfléchie au moyen de deux poulies de renvoi. Ces extrémités étaient munies de poignées ; à l'une d'elles était suspendu un poids P. Une règle graduée placée en regard du poids permettait de mesurer ses déplacements verticaux ; un thermomètre gradué en 1/50e de degré était appliqué contre le biceps du bras placé du même côté que le poids P. Si le coude restant immobile, l'avant-bras est fléchi et élève le poids P à une hauteur H, le travail effectué sera PH et ce travail aura été produit par la contraction du muscle biceps.

Dans ces conditions la contraction musculaire du biceps pourra produire trois effets différents :

1° La main active soulevant le poids P à une hauteur H produit un travail :

$$T = P\,H \quad (4)$$

La hauteur H ne dépassant pas 10cm le travail T était assez petit. Pour l'augmenter, l'expérimentateur répétait le même effort à plusieurs reprises. Le poids P ayant été soulevé par la main active est abandonné par cette main et est soutenu à la descente par la main inactive. Si l'expérience a été répétée n fois, on a :

$$T = n\,PH \quad (5)$$

2° La contraction du muscle pouvait avoir lieu sans production de travail ; pour cela l'expérimentateur se bornait à soutenir le poids à une hauteur fixe. Dans ces conditions le facteur H étant

nul, le travail T était nul. Le muscle était en état de contraction statique.

3° Enfin dans un 3e cas, le poids étant d'abord soulevé à une hauteur H par la main inactive était soutenu à la descente par la main active qui résistait seulement à la pesanteur. Dans ce cas il y a production de travail négatif. Le muscle absorbe du travail au lieu d'en produire.



Dans ces trois expériences, Béclard a obtenu les résultats suivants :

Le muscle à l'état de contraction statique (2e cas) s'échauffe plus que lorsque le muscle produit un travail extérieur utile (1er

cas ; le muscle qui absorbe du travail (3e cas) s'échauffe plus qu'à l'état de contraction statique (2e cas).

Ces expériences semblent indiquer que la production d'une certaine quantité de travail mécanique fait disparaître une certaine quantité de chaleur.

Ces expériences ont été répétées par plusieurs expérimentateurs.

Certains d'entre eux, Heidenhain, Fick, Marc Dufour, Thury ont trouvé des résultats concordants. Le professeur Dupuy, de Bordeaux, a trouvé des résultats contradictoires. Le professeur Chauveau du Museum n'a pas non plus confirmé ces résultats (1).

Cette méthode est du reste sujette à plusieurs critiques :

La mesure des températures périphériques est très difficile. Cette température est modifiée par les liens qui tiennent le thermomètre.

De la mesure d'une température on ne peut pas induire une donnée calorimétrique.

Le biceps n'est pas indépendant du reste du corps ; il est parcouru par un courant sanguin qui emporte la chaleur au fur et à mesure de la marche de l'expérience.

Expériences de Hirn. — Ces recherches ont été reprises par M. Hirn, de Colmar (1856-57) au moyen d'une méthode différente reposant sur l'emploi du calorimètre.

L'appareil de Hirn est une guérite en bois, munie de fenêtres et assez spacieuse pour contenir un expérimentateur. Elle contient une roue à aubes dont l'axe, traversant les parois de la guérite, est mis en mouvement depuis l'extérieur. Cet axe est horizontal.

Plusieurs thermomètres sont répartis dans la salle, et un tourniquet permet de mélanger ses diverses couches d'air.

Cette guérite, véritable calorimètre à rayonnement, était graduée comme nous l'avons déjà indiqué (page 56) au moyen d'un bec de gaz alimenté par de l'hydrogène.

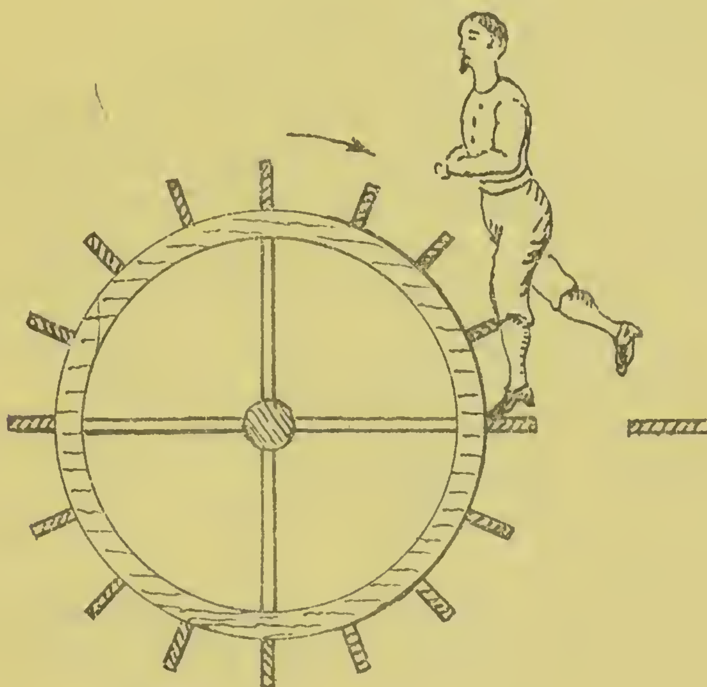
Ceci fait, l'observateur était placé sur une étagère située en avant de la roue et au niveau de son axe, et l'axe de la roue était mis en mouvement.

---

(1) P. Dupuy. Chaleur et mouvement musculaire (1867).
» De la contraction musculaire dans ses rapports avec la chaleur animale.

Dans une première expérience, l'expérimentateur restant sur son étagère et ne produisant aucun travail mécanique, on notait d'une part la quantité de chaleur dégagée dans le calorimètre et d'autre part la quantité d'oxygène consommé par l'expérimentateur pendant la durée d'une expérience.

Dans une seconde expérience, l'expérimentateur abandonnait l'étagère et posait un pied sur l'aube placée en face de lui. Pendant



que la roue tournait, il se tenait immobile dans l'espace, tout en marchant sur les aubes de la roue (1).

---

(1) Voir G.-A. Hirn. La thermodynamique des êtres vivants. Dans la *Revue scientifique*, 4 juin 1887, page 715.

Si P est le poids de l'expérimentateur

R le rayon de la roue

n le nombre de tours effectué pendant une expérience, le travail sera :

$$T = 2 \pi R \times n \times P \qquad (6)$$

Comme dans l'expérience précédente, on notait la quantité d'oxygène absorbé par l'expérimentateur pendant la durée de l'expérience.

Les résultats obtenus permettaient les trois déterminations suivantes :

1° *Mesure de la chaleur disponible* ;

2° *Mesure de la chaleur produite* ;

3° *Mesure du travail mécanique produit.*

La mesure de la chaleur disponible était très difficile. Hirn admettait, conformément aux résultats de Lavoisier, de Dulong et de Regnault, que la quantité d'oxygène absorbé par l'être vivant est proportionnelle à la quantité de chaleur développée à l'état de repos. Il supposait que 1 gr. d'oxygène absorbé correspondait à un dégagement de 5200 cal.-gr.-deg. à l'état de repos. Ce nombre représente *l'équivalent calorifique* de l'oxygène.

La quantité de chaleur produite dans l'expérience était donnée par l'expérience calorimétrique.

Quant au travail mécanique produit il était directement évalué par l'équation (6)

Hirn a trouvé comme résultat de ses recherches que dans les expériences avec production de travail la quantité de chaleur dégagée était inférieure à la chaleur disponible.

Théoriquement la différence entre ces deux quantités devrait être en rapport avec la quantité de travail produit.

Les travaux de Hirn n'ont pas été repris et ses résultats restent les seuls sur lesquels on puisse baser une théorie quelconque du moteur animé.

De nombreuses critiques ont été adressées au physicien de Colmar; lui-même a indiqué dans quel sens de nouvelles expériences devaient être reprises (1).

---

(1) Hirn. *Revue scientifique*, 28 mai 1887 et 89.

Je vous signalerai, comme désidératum, un procédé de mesure de la quantité de chaleur disponible plus exact que celui qui consiste à mesurer la quantité d'oxygène absorbé. On ne peut en effet, d'après les travaux de M. Berthelot, attribuer à des oxydations seules la production de la chaleur dans l'organisme animal. Il existe un grand nombre d'autres réactions exothermiques dans lesquelles la quantité d'oxygène reste la même après comme avant la réaction, et qui, quoique moins importantes que les oxydations doivent cependant entrer en ligne de compte.

Douzième Leçon

Loi de fonctionnement d'un moteur thermique

Les expériences de Hirn et de Béclard ont établi que lorsque un animal produit du travail mécanique il y a en même temps disparition d'une certaine quantité de chaleur. Est-ce à dire que le moteur animé fasse du travail mécanique avec la chaleur ? Ceci nous amène à examiner quelles sont les conditions indispensables de fonctionnement d'un moteur thermique et quelles sont les lois qui régissent son fonctionnement.

Si nous considérons une machine à vapeur, nous y distinguons trois parties importantes et distinctes :

1° Une source chaude ou foyer ;

2° Une source froide ou condenseur ;

3° Un corps (vapeur d'eau) qui va d'une de ces sources à l'autre.

Il n'existe pas de machine où ces trois parties ne puissent être différenciées ; les machines dites à haute pression, telles que les locomotives semblent ne pas posséder de condenseur, mais en réalité la vapeur utilisée se condense dans l'atmosphère qui joue le rôle de source froide,

Le fonctionnement de la machine à vapeur est très simple ; la vapeur part de la source chaude, se détend sous le piston en le

soulevant et en produisant du travail, mais aussi en perdant de la chaleur, et, arrive enfin au condenseur auquel elle cède la chaleur qui lui reste.

Tout se résume donc dans le transport par la vapeur d'eau, d'une certaine quantité de chaleur de la source chaude à la source froide, de la chaudière au condenseur. Mais, si l'on mesure d'un côté la quantité de chaleur que la vapeur emporte avec elle au sortir de la chaudière, d'autre part la quantité de chaleur qu'elle cède au condenseur (ceci est relativement facile et a été fait par M. Hirn sur une machine industrielle) on trouve que la vapeur a perdu de la chaleur dans ce trajet et que le travail mécanique accompli par le piston est proportionnelle à cette quantité de chaleur disparue. C'est là le principe de l'équivalence formulé par Robert Mayer en 1842.

Principe de l'équivalence. — Lorsque dans une machine thermique on voit apparaître une quantité de travail T, on constate la disparition d'une quantité de chaleur Q telle que :

$$\frac{T}{Q} = \text{constante} = E \qquad (1)$$

La constante E porte le nom *d'équivalent mécanique de la chaleur.*

Si T est exprimé en kilogrammètres, Q en calories, la constante E aura pour valeur le nombre 425.

Ce principe est reversible et lorsque dans une machine thermique un travail T disparaît, on voit apparaître une quantité de chaleur Q satisfaisant à la relation

$$Q = T \times \frac{1}{E}$$

L'inverse $\frac{1}{E}$ est quelquefois appelé *équivalent calorifique du travail.*

Principe de Carnot. — La quantité de chaleur qui disparaît dans le trajet de la chaudière au condenseur est la seule qui donne naissance à du travail mécanique, la seule qui soit transformée, c'est donc la seule utile. Toute la chaleur qui se retrouve dans le condenseur, sans être pour cela perdue, a été enlevée inutilement de la chaudière. Le rapport qui existe entre la quantité de chaleur

utilisée, transformée en travail et la quantité de chaleur totale enlevée à la chaudière mesure le rendement du moteur thermique.

Soit Q_1 la quantité de chaleur enlevée à la chaudière;

Soit Q_2 » » rendue au condenseur ;

$Q_1 - Q_2$ sera la quantité de chaleur transformée en travail.

Soit R le rendement du moteur thermique.

$$R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \qquad (2)$$

C'est en cherchant les conditions qui pouvaient influer sur ce rendement que Sadi Carnot, alors capitaine du génie, découvrit le second principe de la thermodynamique ou principe de Carnot. Ce principe est ainsi formulé dans son ouvrage paru en 1824 et intitulé : Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance : *Le rendement d'une machine thermique est indépendant des agents mis en œuvre pour le réaliser* ; *sa valeur est fixée par la température des corps entre lesquels se fait en dernier résultat le transport du calorique.*

Ainsi donc, d'après le principe de Carnot, le rendement d'une machine à vapeur ne dépend nullement du liquide qui est vaporisé dans la chaudière , ce liquide pourrait être de l'alcool, de l'éther, du sulfure de carbone, etc.. Si la température de la chaudière et celle du condenseur restent les mêmes le rendement est invariable.

La valeur de ce rendement en fonction des températures de ces deux sources a été fixée également par Carnot.

Soit T_1 la température *absolue* de la source chaude (la température absolue d'un corps est égale, sans erreur sensible pour les températures, à sa température exprimée en degrés centigrades augmentée de la constante 273).Si donc t_1 est la température centigrade de la source chaude, on aura :

$$T_1 = t_1 + 273$$

De même, soit T_2 la température absolue de la source froide et t_2 sa température centigrade, on aura :

$$T_2 = t_2 + 273$$

Le rendement de la machine thermique considérée a aussi pour expression

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (3)$$

C'est la traduction algébrique du principe de Carnot.

Au moyen de cette relation, on peut facilement évaluer le rendement d'un moteur thermique quelconque.

Prenons l'exemple d'une machine à vapeur dont la chaudière permet de marcher à une pression de 7 atmosphères, ce qui correspond à une température de 165° centigrades ; si cette machine n'est pas munie de condenseur, elle abandonnera à l'atmosphère à la température de 100° centigrades la vapeur qui a agi sur le piston.

D'après le principe de Carnot, le rendement du moteur sera :

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{(273 + 165) - (273 + 100)}{273 + 165} = 0{,}148$$

Le rendement de la machine considérée sera donc 0,148, c'est-à-dire que sur 100 calories enlevées par la vapeur à la chaudière, 148 seulement seront utilisées pour produire du travail mécanique.

La quantité que nous venons de calculer est en réalité le rendement maximum d'une machine parfaite ; dans la pratique, les mécaniciens sont encore loin d'atteindre ce rendement qui est cependant possible.

En résumé le principe de Carnot qui régit le fonctionnement d'un moteur thermique établit une relation entre trois quantités, les deux températures entre lesquelles fonctionne le moteur considéré et le rendement de ce moteur. Si on connaît deux de ces quantités, on pourra connaître la troisième au moyen de la relation (3). La résolution d'un tel problème s'impose à propos du moteur animé.

Le moteur animé n'est pas un moteur thermique

Le rendement du moteur animé a été indiqué par un certain nombre d'expérimentateurs (Helmholtz, Heidenhain, Hirn, Fick) qui l'ont déterminé expérimentalement au moyen de méthodes différentes.

Les chiffres obtenus sont loin d'être concordants de sorte qu'on est loin d'être fixé dans la science sur la valeur de ce rendement. Le résultat qui mérite le plus de confiance est celui de M. Hirn.

Il a été déterminé de la manière suivante : Dans une expérience effectuée au moyen du calorimètre de M. Hirn, le sujet S accomplissait un certain travail et on trouvait à la fin de l'expérience que la quantité de chaleur $Q_1 - Q_2$ transformée en travail était représentée par le chiffre :

$$Q_1 - Q_2 = 76,5$$

La chaleur totale disponible Q_1 calculée comme nous l'avons vu plus haut à propos de l'expérience de Hirn était :

$$Q_1 = 305,9$$

On tire de là le rendement :

$$R = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{76,5}{305,9} = 0,25$$

Les résultats trouvés par les divers expérimentateurs sont résu- dans le tableau suivant :

AUTEURS	RENDEMENT
Helmholtz	$\frac{1}{5}$
Heidenhain	$\frac{1}{2}$
Hirn	$\frac{1}{4}$
Fick	$\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$

La considération de ces nombres montre que le rendement du moteur animé, *du moteur homme*, oscille autour des chiffres $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$

Ce rendement étant accepté, si le moteur animé est un moteur thermique il doit forcément obéir au principe de Carnot et l'on peut, connaissant son rendement et l'une des températures entre lesquelles il fonctionne, déterminer l'autre. Voyons s'il en est ainsi et essayons de déterminer cette température inconnue.

Nous pouvons écrire en prenant le rendement le plus bas et par conséquent le plus favorable à l'hypothèse qui fait du moteur animé un moteur thermique :

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1}{5} \qquad (4)$$

L'une des températures entre lesquelles fonctionne le moteur est forcément la température que nous avons appelée physiologique ; c'est pour l'homme 37° . Cette température correspond-elle à T_1 ou à T_2 ? Est-ce la température de la source chaude ou de la source froide ? Dans le doute nous devons essayer le calcul dans les deux cas.

1° Supposons que 37°6 soit la température de la source froide ; il vient :

$$\frac{T_1 - (273 + 37{,}6)}{T} = \frac{1}{5}$$

puisque $T_2 = 273 + 37°6$

Résolvant cette équation par rapport à T_1 il vient :

$$T_1 = 387°5$$

ce qui donne pour la température centigrade correspondante :

$$t_1 = T_1 - 273 = 114°5$$

Donc, dans les conditions favorables où nous nous sommes placés, il faudrait pour que le principe de Carnot fut applicable au moteur-homme, qu'il y eut quelque part dans son organisme un point dont la température soit supérieure à 100° c. Or nous savons que cela n'est pas possible ; la myosine dont est formé le muscle, les composés albuminoïdes contenus dans le suc musculaire, sont coagulés et détruits bien avant d'avoir atteint la température de l'eau bouillante. Expérimentalement nous savons encore que cette température n'existe en aucun point de notre corps.

Faisons le calcul dans le second cas, et supposons que la température physiologique 37°6 soit la température de la source chaude

L'application du principe de Carnot donne :

$$\frac{(273 + 37°6) = T_2}{273 + 37°6} = \frac{1}{5}$$

puisque $T_1 = 273 + 37{,}6$

résolvant cette équation par rapport à T_2 il vient :

$$T_1 = 248°.$$

d'où la température centigrade correspondante :

$$t_2 = 248 - 273 = -25° \text{ c.}$$

Cette seconde hypothèse conduit également à une contre vérité et à une impossibilité ; aucun point de notre corps n'est à une température de 25° c. au-dessous de zéro et ne pourrait y être amené, sans danger de mort.

Donc, dans les deux seules hypothèses vraisemblables et en prenant pour point de départ le rendement probable du moteur animé, nous trouvons que le principe de Carnot ne lui est pas applicable. Il n'est donc pas un moteur thermique.

Une dernière tentative semblerait pouvoir être faite pour ramener le moteur animé au principe de Carnot ; ce serait de négliger toutes les déterminations de rendement qui ont été faites par les physiciens-physiologistes et de considérer ce rendement comme inconnu. Dans ce cas, pour l'application du principe, nous pourrions prendre pour températures extrêmes des températures compatibles avec la vie. Voyons ce qui va résulter d'une semblable hypothèse si nous en tirons les conséquences qu'elle comporte. Prenons pour température de la source chaude 45° c. C'est une température très rarement observée sur un mammifère, mais qui cependant, pour nous mettre dans les conditions les plus favorables, peut être acceptée. La température de la source froide sera évidemment 37°, ce qui nous donnera pour le rendement :

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{45 + 273 - (37 + 273)}{45 + 273} = 0{,}025.$$

Le moteur animé fonctionnant entre les deux températures centigrades 37° et 45° ne pourrait utiliser au maximum pour produire du travail que 25^cal^ lorsqu'il en produirait 1000.

Ce rendement est-il d'accord avec les faits ? C'est ce que les expériences de Hirn vont nous permettre de rechercher. M. Hirn, dans une expérience d'une heure de durée, au moyen de son calorimètre, élève son corps dont le poids est de 60 kilogr., à 450^m^ de hauteur en chiffres ronds ; il effectue donc un travail de

$$60 \times 450 = 27000 \text{ kilogr. mét.}$$

Si le moteur animé est un moteur thermique, ces 27000 kilogrm. proviennent de $\frac{27000}{425}$ cal.-kilog.deg. transformées en travail.

$$\text{or} \quad \frac{27000}{425} = 63^{c}4.$$

Ayant transformé en travail $63^{c}4$ avec un rendement égal à 0,025 il a dû développer une quantité de chaleur Q_1 telle que l'on ait :

$$\frac{63,4}{Q_1} = 0,025$$

$$Q_1 = 2536^{c}$$

Nous aboutissons encore là à une contre vérité évidente. M. Hirn a en effet trouvé pour la même expérience un nombre dix fois plus petit que celui-ci.

C'est de plus une impossibilité, car pour accomplir 4 ou 5 heures d'un semblable travail, ce qui n'a rien d'exagéré, la chaleur à développer dans l'organisme devrait être telle que la combustion complète de 1 kil. de graisse, corps qui développe le plus de chaleur, n'y suffirait pas.

Nous devons donc admettre d'une façon définitive que le moteur animé n'obéit pas au principe de Carnot et n'est pas un moteur thermique.



Troizième Leçon

Nature du moteur animé

Puisque le moteur animé ne peut être, d'après les considérations physiques et thermodynamiques précédentes, un moteur thermique, il importe de chercher s'il est une machine à laquelle il puisse être assimilé et quelle est cette machine.

Joule, dès l'année 1846, repoussant l'assimilation à un moteur thermique, voulait en faire un moteur électro-dynamique. Il n'est pas besoin de vous dire que cette tentative ne repose sur aucun fondement ; nous ne pouvons constater chez l'animal que des courants propres tellement faibles, que leur existence même a été, comme vous le savez, pendant longtemps le sujet d'une polémique scientifique assez vive entre deux grands physiologistes d'outre-Rhin. De plus les mesures électriques sur l'animal vivant ont acquis depuis quelques années une telle précision que des manifestations électriques capables de donner naissance à une quantité d'énergie comparable à celle produite par l'être vivant, n'auraient pu passer inaperçues.

Cette idée a été reprise ces derniers temps, et M. d'Arsonval s'en est fait l'apôtre. Les organes électriques des torpilles sont consti-

tués par des éléments prismatiques superposés présentant la plus grande analogie avec les fibrilles musculaires. Ces éléments sont empilés comme les rondelles de la pile de Volta. Toute excitation des organes électriques d'une torpille se traduit par une décharge électrique.

Lorsqu'un muscle se contracte il se produit en lui un courant électrique appelé *courant d'action.*

M. d'Arsonval, avec l'esprit ingénieux qu'il possède la même pu réaliser un muscle schématique qui, lui aussi, produit un courant électrique lorsqu'on l'étire ou le contracte et qui, parcouru par un courant, se contracte et peut produire du travail mécanique. Ce muscle schématique est constitué par un tube en caoutchouc divisé intérieurement par des rondelles poreuses entre lesquelles on a introduit une couche de mercure et d'eau acidulée ; il met en jeu des phénomènes électro-capillaires.

Ces analogies quoique fort intéressantes sont insuffisantes pour nous faire admettre la nature électrique du moteur animé et nous concluons que le moteur animé n'est ni un moteur thermique ni un moteur électro-dynamique.

L'hypothèse la plus vraisemblable qui se présente à l'esprit consiste à admettre que le travail mécanique produit par l'être vivant ne provient pas d'une série de transformations de l'énergie dont les termes, au nombre de trois, seraient : l'énergie libérée par des réactions chimiques exothermiques, l'énergie calorifique, l'énergie mécanique. *L'évolution de l'énergie*, selon le terme heureux de M. Chauveau, serait plus courte et plus simple, et les combinaisons chimiques exothermiques seraient à la fois la source directe de tout travail mécanique d'abord et de toute production de chaleur ensuite. Le moteur animé ferait du travail mécanique avec les combinaisons chimiques qui se passent en lui, comme la pile électrique fait du courant électrique au moyen des réactions chimiques qui se passent en elle. La forme de l'énergie intermédiaire, la chaleur, est supprimée ; elle n'apparaît plus que comme le terme ultime de la dégradation de l'énergie et provient de la transformation du travail interne ou externe annihilé au sein des organes par le frottement ou toute autre cause.

Ces idées nouvelles qui touchent non seulement à la théorie gé-

néralement admise de la calorification animale, mais qui battent en brèche toutes les expériences dans lesquelles on a voulu constater un abaissement de température correspondant à une production de travail mécanique, ont été récemment mises en lumière et assises sur des bases expérimentales par les remarquables expériences de MM. Chauveau et Kauffmann.

M. Chauveau admet, et c'est la partie originale de sa théorie, qu'entre l'activité chimique de nos organes et sa transformation en travail dynamique existe une forme intermédiaire de l'énergie, forme particulière à l'être vivant et ne se retrouvant que chez lui ; c'est *le travail physiologique*. Ce travail physiologique, engendré dans le muscle par les réactions exothermiques se manifeste par la contractilité musculaire et par l'apparition de chaleur.

Malgré la grande autorité de M. Chauveau, l'expression de travail physiologique ne paraît pas au-dessus de toute critique. Dans le langage courant, les termes sont très flottants et le mot travail n'est nullement défini. Il n'en est pas de même en physique et en mécanique où la notion de travail a une signification bien déterminée et est représentée par le produit d'une longueur par l'intensité d'une force.

Or dans le cas actuel on n'observe ni effort effectué, ni chemin parcouru ; la transformation intermédiaire que nous étudions ne mérite donc pas le nom de travail et il nous semble qu'il y aurait avantage à supprimer ce terme et à lui substituer simplement le terme de *force élastique*.

On peut se rendre compte par plusieurs exemples du lien qui relie l'existence d'une force élastique à la production d'énergie mécanique ou calorifique.

1° Si, avec la main, on exerce une traction sur une lanière de caoutchouc, elle s'étire et devient le siège d'une force élastique qui lui a été communiquée par l'effort musculaire du bras qui l'a tendu.

2° On peut produire cette force élastique par une action calorifique. En échauffant par l'approche d'un fer rouge une bande de caoutchouc tendue par un poids, on observe la contraction du caoutchouc et le soulèvement du poids tenseur. (Cette expérience est due à Tyndall).

3° On peut produire le même effet en chauffant un gaz dans un réservoir à parois inextensibles. Le gaz se comprimera et pourra produire du travail mécanique en agissant sur le piston d'une machine thermique.

Essayons maintenant d'appliquer à l'être vivant les considérations de M. Chauveau sur l'évolution de l'énergie.

Désignons par E_{ch} l'énergie chimique rendue disponible dans l'intérieur des tissus par les réactions chimiques dont l'organisme est le siège. Ces réactions engendrent une force élastique F_e à laquelle nous pouvons attribuer les trois manifestations suivantes :

A. Production d'une quantité de chaleur Q_1 et d'un travail mécanique nul (le muscle est au repos, en contraction statique).

B. Production d'une quantité de chaleur Q_2 et d'un travail mécanique T_2 (le muscle est en contraction dynamique).

C. Production d'une quantité de chaleur Q_3 et d'un travail mécanique négati (— T_3). (Le muscle est dans la contraction de soutien).

Si on se place dans des conditions telles que les réactions chimiques soient les mêmes dans les trois cas, la mêmé quantité d'énergie chimique E_{ch} sera rendue disponible ; elle donnera naissance à la même force élastique F_e et on pourra écrire qu'il y a égalité entre les diverses manifestations de cette force élastique.

Nous aurons alors les égalités symboliques suivantes :

$$\left.\begin{aligned} E_{ch} = F_e = Q_1 & \\ = Q_2 + T_2 & \\ = Q_3 - T_3 & \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Ces relations ne peuvent avoir lieu que si on a :

$$\left.\begin{aligned} Q_1 > Q_2 & \\ Q_3 > Q_1 & \\ \text{d'où : } Q_3 > Q_1 > Q_2 & \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Dans leurs remarquables expériences, MM. Chauveau et Kauffmann (1) ont confirmé ces déductions théoriques.

(1) Chauveau et Kauffmann. Comptes rendus, t. CIV et CV.

Ces expériences ont porté sur le muscle releveur de la lèvre supérieure du cheval, muscle qui possède une seule artère, une seule veine et un tendon très grêle.

1° Dans une première expérience on sectionne le tendon du muscle droit, par exemple, puis on présente à l'animal un repas d'avoine. Le muscle gauche se contracte, relève la lèvre et effectue du travail ; quant au muscle droit il se contracte à vide sans produire de travail.

On mesure le travail chimique qui s'accomplit dans chacun des deux muscles en analysant le sang à l'entrée et à la sortie de chacun de ces deux organes.

L'expérience donne des résultats identiques, ce qui prouve que l'utilisation ou la non utilisation du travail du muscle ne change pas sensiblement l'accroissement vraiment considérable du travail chimique accompagnant cette contraction.

La création de la force élastique est donc la seule cause de la dépense de l'énergie chimique ; la création du travail mécanique et l'apparition de la chaleur sensible ne proviennent que de la destruction ou transformation de la force élastique,

2° Dans une deuxième expérience MM. Chauveau et Kauffmann ont planté des aiguilles thermo-électriques dans les deux muscles releveurs du même animal. Le tendon du muscle de droite ayant été coupé, ils ont observé un plus grand échauffement de ce muscle lorsque la contraction avait lieu. A droite, la contraction avait lieu sans produire de travail. A gauche, au contraire, il y avait production d'un certain travail mécanique.

Ce résultat est conforme à la relation (2).

Une autre vérification consiste à comparer les quantités de chaleur Q_1 et Q_2 produites par le muscle pendant la contraction à vide et la contraction dynamique et à mettre en parallèle leur différence avec le travail effectué T.

1° Lorsqu'un muscle s'échauffe, la chaleur dégagée est emportée par le torrent circulatoire et le muscle se comporte comme un calorimètre à circulation ; il est facile d'évaluer cette quantité de chaleur.

Soit t la température du sang qui arrive dans le muscle.

Soit t' » » qui en sort.

Soit V le volume du sang écoulé pendant la durée de l'expérience.

Si on admet que la densité du sang et sa chaleur spécifique peuvent être confondues avec l'unité, la quantité de chaleur emportée par le sang sera égale à V (t' — t).

Le muscle lui aussi absorbe une certaine quantité de chaleur pour s'échauffer de t à t'.

Soit P le poids du muscle. Si on confond sa chaleur spécifique avec l'unité, la quantité de chaleur qui lui a été fournie aura pour expression P (t' — t)

$$\text{d'où : } Q = P(t' - t) + V(t' - t) = (P + V)(t' - t) \qquad (3)$$

Une pareille méthode de mesure peut être appelée méthode *auto-calorimétrique.*

On fera deux expériences et deux séries de mesures ; la première sur le muscle intact donnera Q_2 ; la seconde sur le muscle dont le tendon a été sectionné donnera Q_1.

On aura aussi la différence $Q_1 - Q_2$.

2° Pour évaluer le travail effectué T pendant la contraction, on raccordera les deux bouts du tendon sectionné au moyen d'un ressort en caoutchouc de longueur l ; la contraction du muscle étire ce ressort et sa longueur devient l'.

L'allongement l'-l du ressort représente exactement la contraction du muscle, comme le montre la figure ci-dessous.



Pour évaluer l'intensité e de l'action musculaire, on devra me-

surer à part, avec un dynamomètre, l'effort qu'il faut exercer sur le ressort l pour l'étirer de telle sorte que sa longueur devienne l'.

Le travail effectué pendant la contraction musculaire a pour valeur e (l'-l) et si on produit n contractions pendant la durée d'une expérience, on aura :

$$T = n\, e\, (l'-l). \qquad (4)$$

Résultats. — Si la même quantité d'énergie apparaît sous la forme d'une quantité de chaleur $Q_1 - Q_2$ ou d'un travail mécanique T, on doit avoir en désignant par E l'équivalent mécanique de la chaleur, la relation :

$$E\,(Q_1 - Q_2) = T$$

$$\text{ou : } Q_1 - Q_2 = \frac{T}{E}$$

Dans une expérience on a trouvé, par minute et par gramme de muscle, les limites suivantes :

$Q_1 - Q_2$ était compris entre $0^{cal}000031$ et $0^{cal}000041$.

$\frac{T}{E}$ » » » $0^{cal}000031$ et $0^{cal}000035$.

Cette vérification est pleinement suffisante, vu la difficulté d'expérimentation et les nombreuses causes d'erreur auxquelles il est difficile de le soustraire.

Conclusion. — La conception de M. Chauveau paraît conforme aux faits établis et on doit considérer les réactions chimiques exothermiques ayant pour siège l'organisme comme la source première de l'énergie. La force élastique du muscle en est la conséquence et est la source immédiate de toute production de chaleur ou de travail par l être vivant.

Cette force élastique doit être considérée comme une forme de l'énergie propre à l'être vivant et dont l'étalon physique restera longtemps inconnu.

NOTA. — Pour plus de détails, voir Chauveau. Le travail musculaire et l'énergie qu'il représente. 1 vol. in-8, 373 pages avec avant-propos (1891).

Quatorzième Leçon

Source de la chaleur et du travail chez l'animal

Que le moteur animé soit un moteur thermique, un moteur électro-dynamique ou un moteur d'essence spéciale n'ayant aucun similaire parmi les machines que nous utilisons, il n'en est pas moins vrai qu'il doit obéir au *principe de la conservation de l'énergie*. Libérant de la chaleur et du travail, il doit absorber de l'énergie sous une autre forme. Nous savons depuis Lavoisier que ce sont les réactions chimiques qui se passent au sein de son organisme qui fournissent cette énergie.

Idées des anciens. — Jusqu'à Lavoisier, les idées émises sur les origines de la chaleur animale et du travail produit par les êtres vivants, sont des plus fantaisistes et ne reposent sur aucune observation précise.

Les opinions des chimiatres (médecins chimistes) et des iatromécaniciens (médecins mécaniciens) que vous trouverez très clairement exposées dans le livre de M. le professeur Gavarret (1) ne sont intéressantes à connaître qu'au point de vue historique.

(1) Gavarret. De la chaleur produite par les êtres vivants (1855). P. 111.

Idées de Lavoisier. — C'est après avoir établi la composition de l'air en 1877 que Lavoisier ramène les phénomènes de la respiration à ceux de la combustion du carbone et de l'hydrogène et en fait la source de la chaleur animale. « La respiration, dit-il (1), n'est qu'une combustion lente du carbone et de l'hydrogène, qui est semblable en tout à celle qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie allumée, et sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consument ».

La plupart des successeurs de Lavoisier adoptèrent complètement ses idées, Dulong et Despretz entre autres, et ce n'est que de nos jours, avec l'aide des données de la thermochimie, que l'on peut revenir sur les idées de Lavoisier et que l'on peut concevoir d'une manière plus générale les sources de la chaleur et du travail.

Idées modernes. — Suivant la conception actuelle, formulée nettement par M. Berthelot (2) le corps de l'animal vivant est un vaste laboratoire où des réactions chimiques en nombre presque infini, comme les corps qu'elles contribuent à former ou à détruire, se produisent continuellement. Ces réactions peuvent être groupées en deux classes bien distinctes au point de vue physique, celles qui dégagent de la chaleur et celles qui en absorbent. Les premières ont été, comme vous le savez, appelées par M. Berthelot *exothermiques*, les secondes *endothermiques*.

Les premières libèrent de l'énergie, les secondes en absorbent ; l'énergie utilisable par l'être vivant est égale à la somme algébrique de ces deux quantités de signe contraire. Quelquefois les réactions endothermiques l'emportent sur les réactions exothermiques, l'énergie libérée est plus petite que l'énergie absorbée, la somme a le signe négatif ; dans ces conditions, l'animal, au lieu de céder de la chaleur au milieu dans lequel il vit, au lieu d'effectuer un travail externe, emprunte de la chaleur à ce milieu pour maintenir constante sa température et ne produit aucun travail. C'est le cas de l'œuf pendant la période d'incubation. Les synthèses organiques endothermiques produites dans l'œuf sont

(1) Lavoisier. (Œuvres). Tome II, p. 671.

(2) Berthelot. Essai de mécanique chimique. Paris, 1879.

de beaucoup supérieures par leur importance aux réactions exothermiques et vous savez que, dans ce cas, les mesures calorimétriques de M. d'Arsonval ont accusé une notable absorption de chaleur. Ce serait probablement le cas du végétal jusqu'à la période de reproduction. Mais, le plus souvent, les réactions exothermiques l'emportent sur les endothermiques ; la somme a le signe positif ; c'est le cas de tout animal un peu élevé au point de vue morphologique. La quantité d'énergie que l'animal peut ainsi libérer pourrait même aider, comme je vous l'ai dit au début de ces leçons, à marquer son rang au point de vue physiologique, dans l'échelle des êtres.

Oxydations. — Les oxydations sont évidemment les sources de chaleur les plus importantes pour l'être vivant. Aussi la mesure de l'oxygène absorbé et de l'acide carbonique rendu demeure toujours fort importante. On ne peut cependant, comme l'ont fait Lavoisier, Dulong et Despretz, et, plus récemment Hirn, de la quantité d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé dans la respiration, déduire la quantité d'énergie totale disponible dans l'être vivant, cela, pour bien des raisons dont les principales sont les suivantes :

1° L'oxygène employé à ces combustions n'est pas à l'état libre, mais provient de l'oxyhémoglobine. Les combustibles organiques doivent donc d'abord enlever l'oxygène à l'oxyhémoglobine, c'est-à-dire produire une réduction endothermique. La quantité de chaleur absorbée par cette réaction doit se retrancher de celle produite par l'oxydation qui la suit.

2° Une même quantité d'oxygène peut produire des quantités de chaleur fort différentes, suivant qu'elle est employée à produire la combustion de tel ou tel aliment. M. Berthelot a fait remarquer (1), en effet, qu'une même quantité d'oxygène en se fixant sur des corps tels que les alcools pour les transformer en acides organi-

---

(1) Berthelot. Mémoire sur la chaleur animale. In. Mémoires de la Société de Biologie.

Voir aussi : Lambling. Origine de la chaleur et de la force chez les êtres vivants. Thèse d'agrégation 1883.

ques correspondants dégage des quantités de chaleur qui varient du simple au double.

Ces chiffres sont indiqués dans le tableau suivant :

Alcool	méthylique	$CH^4O + O^2$	dégage	2×37^{cal}
»	éthylique	$C^2H^6O + O^2$	»	2×53
»	amylique	$C^5H^{12}O + O^2$	»	2×65
»	éthalique	$C^{16}H^{34}O + O^2$	»	2×90

3° Les mêmes quantités d'acide carbonique et d'eau formés peuvent avoir donné lieu à des quantités de chaleur fort différentes suivant qu'elles proviennent d corps déjà plus ou moins oxydés. Ainsi pour une même quantité d'acide carbonique et d'eau formés, on observe que :

le passage de l'acide	acétique	à l'acide	formique	dégage	114^{cal}.
»	butyrique	»	acétique	»	143 »
»	margarique	»	butyrique	»	156 »
»	stéarique	»	margarique	»	187 »

4° Enfin les oxydations incomplètes peuvent dégager une quantité considérable de chaleur sans mettre en liberté CO^2 et H^2O ; la formation des aldéhydes, par exemple, absorbe de l'oxygène sans dégager d'acide carbonique.

Autres réactions exothermiques. — Beaucoup d'autres réactions sont produites dans l'organisme. De ce nombre sont les hydratations, les déshydratations, les dédoublements, les fermentations.

Réactions calorigènes et dynamogènes

Nous allons voir s'il est possible d'établir une division entre les diverses réactions que nous venons d'étudier.

Théorie de Liebig. — En 1842, Liebig chercha le premier à établir cette division. D'après lui les aliments doivent être séparés en aliments *respiratoires ou calorigènes* et en aliments *plastiques ou dynamogènes*.

D'après cette théorie, les hydrates de carbone qui s'oxydent fa-

cilement et sont brûlés par la respiration (aliments respiratoires) produisent spécialement de la chaleur.

Les matières albuminoïdes absorbées servent au contraire à la nutrition des muscles, lesquels sont presque entièrement formés de matières albuminoïdes ; ces composés dégagent peu de chaleur par leur combustion et doivent être employés à produire du travail mécanique, d'où leur nom d'aliments dynamogènes.

Cette théorie, très simple et très attrayante, comporte un certain nombre d'objections :

1° Les animaux herbivores, dans l'alimentation desquels les corps non azotés prédominent, sont d'excellents producteurs de travail ; les carnivores, au contraire, en sont de très médiocres. Ce résultat est contraire à la théorie de Liebig.

2° La destruction des albuminoïdes et la production d'urée qui en est la conséquence, devrait augmenter avec le travail produit, et entre ces deux quantités devrait exister une relation de proportionnalité.

Expériences de Fick et Wislicenus. — Dans le but de faire cette dernière vérification, deux professeurs allemands, MM. Fick et Wislicenus entreprirent l'ascension du Faulhorn en s'abstenant absolument d'ingérer des albuminoïdes ; 17 heures avant l'ascension ils ne prirent pas d'aliments azotés et pendant 31 heures ils ne mangèrent que du lard, de l'amidon et du sucre. L'azote total de l'urine fut dosé avant, pendant et après l'ascension et l'on put déduire de là la quantité de substances albuminoïdes oxydée pendant l'ascension.

L'évaluation du travail mécanique effectué était des plus simples. Soit H l'altitude de la montagne gravie, P le poids de l'un des expérimentateurs, le travail mécanique effectué a pour valeur PH, en négligeant le travail du cœur et des organes respiratoires.

Le résultat ne fut pas celui attendu, et il se trouva que pour Wislicenus l'évaluation de l'énergie résultant de la formation de l'urée couvrait à peine le 1/3 de l'énergie totale dépensée. Pour Fick le nombre trouvé fut un peu plus grand.

Cette expérience montre que la théorie de Liebig est inexacte et

que les hydrates de carbone concourent par leur oxydation à la production du travail mécanique.

Une dernière objection que l'on peut faire à la théorie de Liebig est que l'analyse directe des déchets musculaires après un travail normal du muscle considéré montre l'existence de corps qui ne peuvent provenir que de l'oxydation des hydrates de carbone, par exemple l'acide lactique.

Théorie de Fick. — La théorie de Liebig ne peut donc plus être acceptée et Fick tenant compte des objections exposées plus haut lui a substitué la suivante : Le muscle est analogue à une machine qui brûle des hydrates de carbone et des substances non azotées, mais le fonctionnement de cette machine ne va pas sans une certaine usure de ses organes, et, c'est à leur réparation que sont utilisées les substances albuminoïdes contenues dans les aliments. De même que dans une machine à vapeur l'usure des organes dépend de la bonne construction de la machine et du travail mécanique qu'elle a effectué, de même tout muscle qui travaille s'use et donne un certain déchet qui s'élimine du corps et qu'on retrouve dans l'urée et les excreta.

On peut objecter à cette théorie que la quantité d'urée produite par un être vivant est toujours de beaucoup supérieure à ce qu'elle devrait être si la théorie de Fick était vraie.

Théorie de Donders. — Le physiologiste hollandais Donders a modifié la théorie de Fick. D'après cet éminent physiologiste, le muscle brûle de préférence les matières hydrocarbonées qui lui sont fournies par le sang, mais si, par suite d'une très grande dépense d'énergie ces matières viennent à lui faire défaut, l'oxydation des matières albuminoïdes se produit.

C'est ce qui se produit dans certaines fièvres ou dans les cas de fatigue extrême ; l'être vivant ayant entièrement épuisé sa réserve d'hydrates de carbone consomme ses divers organes, graisses, muscles, etc. Ces phénomènes *d'autocombustion, d'autophagisme* produisent un amaigrissement progressif pouvant amener la mort. On constate en même temps que la production d'urée va en augmentant de plus en plus.

Le glycogène formé dans le foie et emporté dans le torrent circulatoire est accumulé dans les muscles où se produisent des phénomènes d'hydratation (transformation du glycogène en glucose) et d'oxydation (transformation du glucose en acide carbonique et eau).

Un être vivant ne pourra accomplir un grand travail sans fatigue que s'il a accumulé dans ses organes une grande quantité de glycogène. Il se fatiguera d'autant moins que par un travail *d'entrainement* il sera mieux approprié au travail qu'il veut faire de façon à éviter les mouvements inutiles.

Si l'organisme change subitement d'adaptation les combustions glycogéniques augmenteront chez lui et on verra augmenter sa sécrétion d'urée.

On voit que la théorie de Donders s'adapte parfaitement aux faits établis ; cette théorie est presque exclusivement adoptée aujourd'hui.



Quinzième Leçon

Applications médicales de la chaleur

Les applications de la chaleur à la médecine sont très nombreuses et très variées ; on peut les ranger en deux catégories :

1° *Action directe de la chaleur sur le corps humain ;*

2° *Application de la chaleur aux sciences biologiques et médicales.*

Les applications directes de la chaleur au corps de l'homme peuvent avoir pour but :

De le réchauffer (gain de chaleur au profit du corps).

De le refroidir (soustraction de chaleur).

D'où deux chapitres bien distincts :

Action de la chaleur sur l'organisme vivant ;

Action du froid sur l'organisme vivant.

Action de la chaleur sur l'organisme vivant

Un être vivant peut bénéficier d'un gain de chaleur, de même qu'un corps inerte, par trois procédés bien distincts : *conductibilité, rayonnement, convection.*

Les deux derniers modes d'échauffement sont peu employés en

médecine ; le moyen le plus commode pour fournir de la chaleur au corps humain utilise la conductibilité.

Le corps conducteur pouvant être solide, liquide, gazeux, nous devrons étudier successivement l'échauffement par les *corps gazeux*, par les *corps liquides*, et enfin par les *corps solides*.

1° *Echauffement par les corps gazeux.* — Les corps gazeux employés pour fournir de la chaleur au corps de l'homme par conductibilité doivent avoir une température supérieure à la température physiologique. Ces corps sont très variés ; le plus usuel est l'air atmosphérique qui peut être sec, humide ou chargé d'essences médicamenteuses variées. La vapeur d'eau est aussi très fréquemment employée.

Les modes thérapeutiques d'échauffement de l'organisme par les corps chauds sont :

Bain d'étuve. — L'étuve est un récipient constitué par une caisse en bois dans laquelle on introduit le malade ; à la partie supérieure de l'étuve se trouve un orifice par lequel le malade passe la tête.

Pour faire prendre à un malade un bain d'étuve, on l'introduit dans le récipient, on fait arriver l'air chaud et on a soin de placer sur la tête du malade une serviette mouillée d'eau froide.

Dans certains cas on plonge le malade tout entier dans le milieu chaud. *Les bains russes ou turcs* sont constitués par de grandes étuves au nombre de trois, portées respectivement à des températures de 30°, 45°, 70°. L'individu entre dans la première chambre, s'habitue à ce milieu, puis passe dans la seconde et enfin dans la troisième où l'air est sec (étuve sèche) ; dans cette dernière étuve une abondante sudation se produit et refroidit assez le corps du malade pour qu'il puisse résister à l'action de la température élevée de cette chambre.

La durée du bain est assez longue ; elle est de 4 à 5 heures.

Douche de vapeur. — Elle est produite par un jet de vapeur d'eau sortant d'une chaudière et qu'on dirige sur le malade. La température de la douche est inférieure à celle de l'eau qui se trouve dans la chaudière. On sait en effet que la détente d'un gaz ou d'une vapeur produit un refroidissement qui peut être très considérable. Ce

phénomène est mis en évidence au moyen de l'expérience qu'on fait avec la marmite de Papin.

Couveuse artificielle. — La couveuse artificielle est aussi une application très intéressante de l'échauffement de l'organisme dans un milieu gazeux. Elle est destinée à conserver les enfants venus avant terme et les enfants affaiblis dans un milieu dont la température est élevée, constante et voisine de celle du milieu utérin.

L'idée première, due au professeur Dénucé (1857) a été reprise par le docteur Tarnier en 1881 et, aujourd'hui, l'application des couveuses artificielles est très répandue.

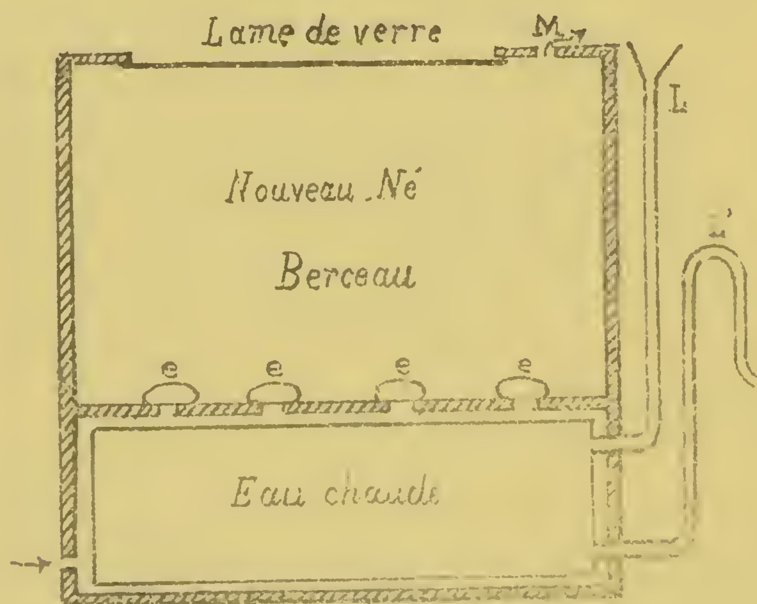
La couveuse artificielle peut être utilisée dans les cas suivants :

A. *Enfants nés avant terme et n'ayant pas assez de vitalité pour résister au refroidissement.*

B. *Enfants nés à l'état de cyanose.*

C. *Enfants nes à l'état d'œdème hypothermique.* Dans cette maladie la mortalité a été abaissée de 16/20e à 4/21e par l'emploi de la couveuse.

La couveuse d'Auvard, très répandue dans les maternités, se compose d'une caisse en bois divisée en deux compartiments au moyen d'une cloison percée de trous. Dans le compartiment supérieur, convenablement ventilé par un moulinet M on place le nou-



veau-né dans un berceau. Le compartiment inférieur contient une

bouillotte remplie d'eau chaude qu'on introduit par un tube latéral L ; l'eau refroidie s'écoule à mesure par le tube en bec de signe L' qui part du fond du réservoir.

Un thermomètre est accroché à la paroi du compartiment supérieur et indique si on doit ou non ajouter de l'eau chaude dans la bouillotte.

Des éponges mouillées sont placées sur les ouvertures de la cloison et rendent humide l'air chaud qui entoure l'enfant.

Dans la couveuse de Budin la couveuse est chauffée au moyen d'un bec de gaz muni d'un régulateur automatique de température. Si le régulateur cesse de fonctionner une sonnette électrique avertit la surveillante que l'enfant risque d'être gelé ou cuit dans sa couveuse.

Quoique les besoins de chaleur varient d'un enfant à l'autre les couveuses artificielles sont maintenues à des températures fixes.

Auvard porte sa couveuse à 30°.

Budin, *Pinard*, portent la leur à 35°.

2° *Echauffement par les corps liquides.* — Toute l'hydrothérapie chaude entre dans le cadre de ce chapitre ; elle utilise comme agent thérapeutique l'eau chaude sous forme de bains et de douches.

Bains chauds généraux. — Le malade est immergé dans une baignoire remplie d'eau dont la température peut varier et atteindre 40°. A 37° un bain est dit *très chaud.* A 40° il est difficilement supportable.

Les bains chauds sont employés dans le traitement du choléra. Pendant la période *algide* la température du corps s'abaisse jusqu'à 35° et 34° ce qui constitue pour le malade un grand danger. En plongeant dans un bain chaud les cholériques à la période algide on a pu rendre normale leur température centrale.

Bains chauds locaux. On utilise des récipients plus petits remplis d'eau chaude et dans lesquels on place la partie malade.

Douches chaudes générales. — La douche est constituée par un jet d'eau chaude qu'on dirige sur le corps du malade.

Douches chaudes locales. — Dans la douche chaude locale le jet liquide est dirigé sur un point limité du corps du malade.

Les douches chaudes locales ont été employées avec succès pour

arrêter les hémorrhagies ; la coagulation du sang sera facilement produite si la température de la douche est supérieure à 40° (hémorrhagies nasales, utérines, etc.).

3° *Echauffement par les corps solides.* Les corps solides utilisés pour produire cet effet sont habituellement portés à une très haute température ; ce sont des métaux divers (cuivre, fer, argent, platine, etc.) et l'effet qu'ils produisent est désigné sous le nom de *cautérisation.*

La cautérisation au fer rouge était autrefois très employée. On connaît l'aphorisme hippocratique : « Quœ medicamenta non sanant, ea ferrum sanat ; quœ ferrum non sanat, ea ignis sanat ; quœ vero ignis non sanat, ea insanabilia reputare oportet ».

Anciens cautères. — Les anciens cautères étaient constitués par une grosse masse métallique terminée en pointe et munie d'un manche isolant en bois. Le cautère étant fortement chauffé le chirurgien pouvait effectuer des cautérisations *punctiformes, linéaires, en nappes,* suivant la forme de la pointe du cautère (pointes de feu).



Le cautère, appliqué sur la peau, produit une brûlure résultant de la désorganisation des tissus. Il y a destruction de l'épiderme, du derme, du pannicule adipeux sous-cutané et il en résulte une révulsion qui est l'effet thérapeutique cherché.

Le marteau de Mayor est un vieux cautère en fer dont l'extrémité est aplatie ; on le chauffait en le plongeant dans un bain d'eau bouillante et on l'appliquait sur la peau où il pouvait produire une révulsion d'assez grande surface.

Thermocautères. — Le fer rouge a été avantageusement remplacé

par le thermocautère imaginé par le docteur Paquelin. Cet appareil est basé sur le même principe que la lampe sans flamme.

Un certain nombre de corps parmi lesquels le platine, l'iridium, le palladium ont la propriété particulière d'absorber et de retenir par occlusion de grandes quantités de gaz. Si le gaz occlus est combustible et si on se place dans des conditions favorables à sa combustion, cette action se produira avec échauffement de la masse métallique.

Dans la lampe sans flamme ordinaire, on place une spirale de platine préalablement chauffée dans un verre contenant de l'alcool. Les vapeurs d'alcool condensées par le fil de platine sont oxydées par l'air, transformées en aldéhyde et acide acétique et la spirale devient incandescente.

Le professeur Figuier a imaginé et construit une lampe sans



flamme particulièrement commode. Une boule de pierre ponce imbibée de bichlorure de platine étant portée au rouge à la flamme d'un bec de gaz, il y a réduction du sel de platine et la masse s'imprègne de noir de platine. On a alors une *boule de ponce platinée*



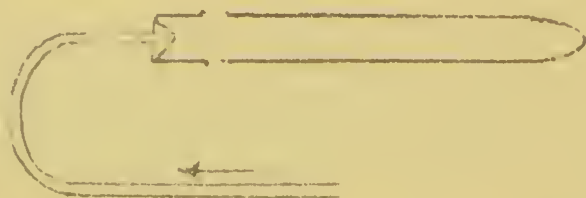
qui pourra être rendue incandescente lorsqu'on dirigera sur elle un courant de gaz d'éclairage s'échappant par un orifice de très faible calibre.

Le thermocautère est formé par un tube conique en platine dans l'intérieur duquel on injecte un courant d'air fortement chargé de

vapeurs d'essence de pétrole ou d'un autre carbure d'hydrogène. Le cautère étant chauffé au rouge avant l'expérience se maintiendra à l'incandescence sous l'influence de l'oxydation du carbure.

On produit le courant d'air nécessaire au fonctionnement de l'appareil au moyen d'une poire en caoutchouc.

L'appareil comprend un manche unique sur lequel on peut vis-



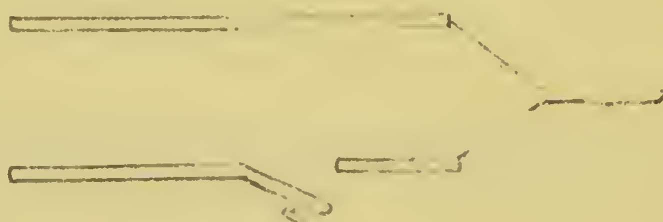
ser des cautères de formes variées. L'étendue de la cautérisation à produire sera ainsi rendue variable à la volonté du chirurgien.

Le thermocautère est très transportable.

Galvanocautères. Ce sont les cautères les plus modernes. Ils sont basés sur ce fait qu'un courant électrique traversant un conducteur l'échauffe d'autant plus que sa résistance électrique est plus grande et que le courant est plus intense.

Les galvanocautères sont constitués par des fils de platine ou par des lames de platine intercalés dans un circuit peu résistant et non échauffé par le passage du courant.

Un interrupteur à bouton ou à pédale permettra au chirurgien de lancer le courant dans le cautère au moment précis où il veut produire la cautérisation.



Le tableau suivant indique les températures qui correspondent aux divers aspects du platine incandescent. (Pouillet).

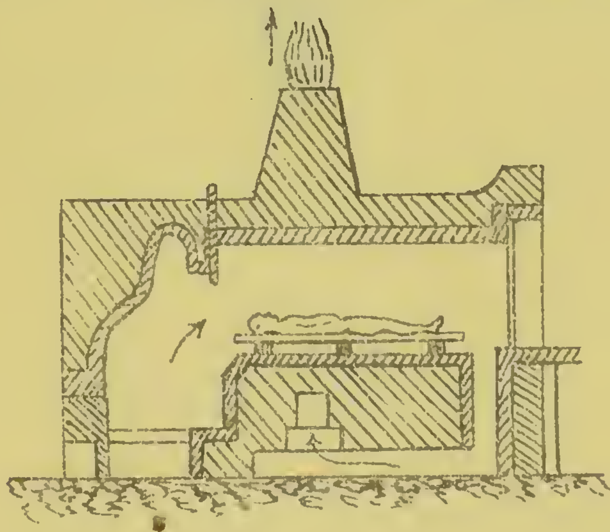
Rouge naissant	525°
Rouge sombre	700°
Rouge cerise	900°
Rouge blanc	1300°

Le cautère prend le nom d'*anse électro-thermique* lorsqu'il est constitué par un fil de platine assez long au moyen duquel on peut circonscrire les tissus et les sectionner.

Le fer rouge n'étant pas hémostatique au-dessus de la température du rouge sombre, la cautérisation et le sectionnement des tissus devront toujours être effectués à une température inférieure à 700°. Dans ces conditions seules, on sera à l'abri des hémorrhagies (1).

Moxa. — Un procédé de cautérisation et de révulsion employé autrefois consistait à déposer sur l'épiderme un corps combustible (petits pains formés par un mélange de poudre de lycopode et de salpêtre humecté d'alcool) et à l'allumer. Ce procédé de cautérisation était très douloureux.

Fours crématoires. — La crémation des morts est une intéres-



Four Gorini

(1) Bordier et Chevallier. *Archives d'Electricité médicale* (1893).

sante application de la chaleur au corps de l'homme. Elle permet de détruire les restes des amphithéâtres de dissection ainsi que tous les cadavres.

Un four crématoire est essentiellement constitué par un four qui peut être porté à une température de 800 à 1000° au moyen d'un foyer dans lequel on brûle du coke. Lorsque cette température est atteinte le cadavre, enveloppé dans une toile d'amiante, est amené par un chariot roulant sur des galets et est déposé sur la sole du four. L'air chaud introduit brûle les gaz dégagés et on recueille les cendres.

Un bon four crématoire doit produire la combustion rapidement et sans dégager d'odeur.



Seizième Leçon

Action du froid sur l'organisme vivant

On appelle *réfrigération* l'ensemble des procédés utilisés pour soustraire de la chaleur au corps de l'homme dans un but thérapeutique.

Cette soustraction de chaleur pourra être effectuée de deux manières distinctes :

1° *Par conductibilité* ;

2° *Par vaporisation de liquides convenablement choisis à la surface du corps.*

Nous allons étudier successivement ces deux ordres de phénomènes.

Réfrigération par conductibilité

Le corps le plus employé pour soustraire de la chaleur à l'homme par conductibilité est l'eau refroidie à une température inférieure à celle du malade.

La puissance réfrigérante d'un liquide est d'autant plus grande que sa température est plus basse et que sa chaleur spécifique et sa conductibilité calorifique sont plus grandes. Les liquides en gé-

néral, et l'eau en particulier, ont une faible conductibilité calorifique, mais elle est compensée par le transport de chaleur de molécule à molécule par convection.

Nous étudierons successivement la réfrigération générale et la réfrigération locale.

1° *Réfrigération générale.* — La réfrigération générale du corps se fait par l'application de *bains froids.* Cette méthode, introduite en médecine par Brandt, a été appliquée en Allemagne par un grand nombre de médecins, entre autres par Liebermeister, Jurgensen. Introduite en France par Glénard, cette méthode a été tout d'abord expérimentée par l'Ecole de Lyon (Tripier et Bouveret, Aubert).

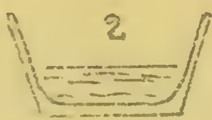
Le principe sur lequel repose l'application du bain froid est le suivant : *Toutes les fois que la température d'un malade atteint ou dépasse 39°, il faut lui donner un bain froid à la température de 20° et dont la durée est de 20 minutes.* (Formule de Brandt).

Comme on le voit, ce traitement s'applique au symptôme hyperthermie et convient à toutes les maladies accompagnées d'une élévation de température. On l'emploie le plus souvent dans la fièvre typhoïde, le rhumatisme fébrile aigu, la rougeole, la scarlatine, la variole, la pneumonie infectieuse, etc.

Température. — Il importe d'indiquer la température du bain que l'on donne à un malade,car l'appellation de *bain froid* est insuffisante, inutile et prête à confusion. Le mot froid, en effet, n'est pas défini en science ; la sensation de froid est donnée par nos organes et n'est nullement définie d'une façon absolue. Si on prend



Eau glacée



Eau froide



Eau tiède

trois récipients renfermant le premier de l'eau glacée, le second de l'eau froide, le troisième de l'eau tiède, la main plongée d'abord dans (1) puis dans (2) accusera dans ce second réservoir une sensation de *chaud.* Si au contraire on plonge d'abord la main dans (3) puis dans (2) la main éprouvera dans la seconde capsule une sen-

sation de *froid*. Donc un bain doit être défini par sa température, et l'appellation de *bain froid* devrait être remplacée par celle de *bain réfrigérant*.

La formule de Brandt n'est plus appliquée aujourd'hui dans toute sa rigueur. Chez certains individus (obèses, adipeux) le refroidissement du corps est très lent et la température des bains peut être abaissée jusqu'à 15°. Dans les cas ordinaires on donne des bains à 25°.

Technique. — La température du malade étant de 39° ou 40° on plonge ce dernier dans de l'eau à 25° et on fait sur sa tête des affusions froides.

Durée. — La durée du bain variera de 10 à 20 minutes et aura comme criterium physiologique une sensation de froid qui se traduit par un frisson. Dans les cas graves, on peut laisser le malade frissonner dans le bain pendant quelques minutes.

On retire le malade du bain, on l'essuie rapidement puis on l'enveloppe avec une couverture de laine.

Effets. — Les tableaux suivants dus au professeur agrégé Sigalas (1) montrent quel est l'effet d'un *bain réfrigérant* sur les sujets sains et sur les fébricitants. Dans chaque cas on a pris la température rectale (température centrale) et la température axillaire (température périphérique).

Chez l'homme sain la température rectale s'élève pendant l'immersion ; pendant ce temps la température axillaire baisse brusquement. Après le bain on observe pour les deux courbes un retour lent aux températures normales.

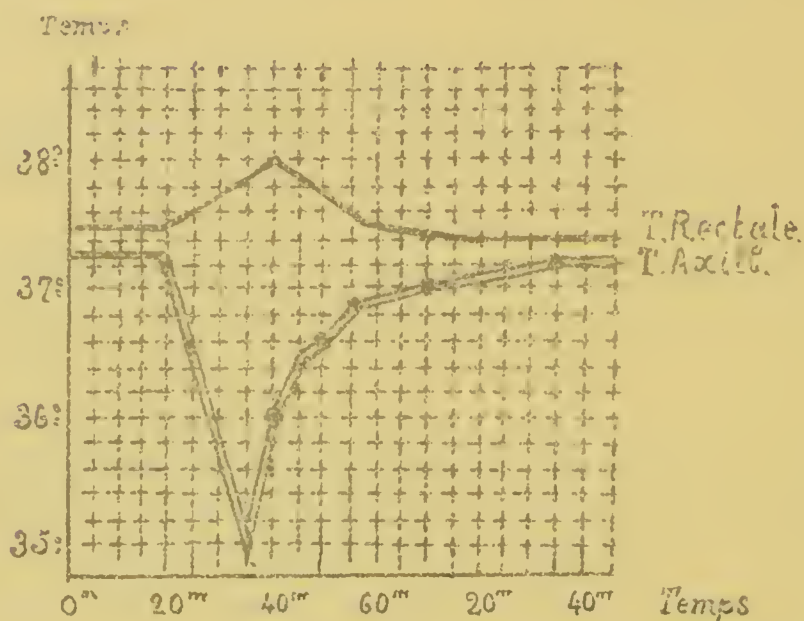
Chez le fébricitant les deux courbes s'infléchissent pendant le bain. La température rectale continue à baisser même après l'immersion ; la température axillaire se relève au contraire.

On peut donner aux typhiques jusqu'à 4 et 5 bains par jour.

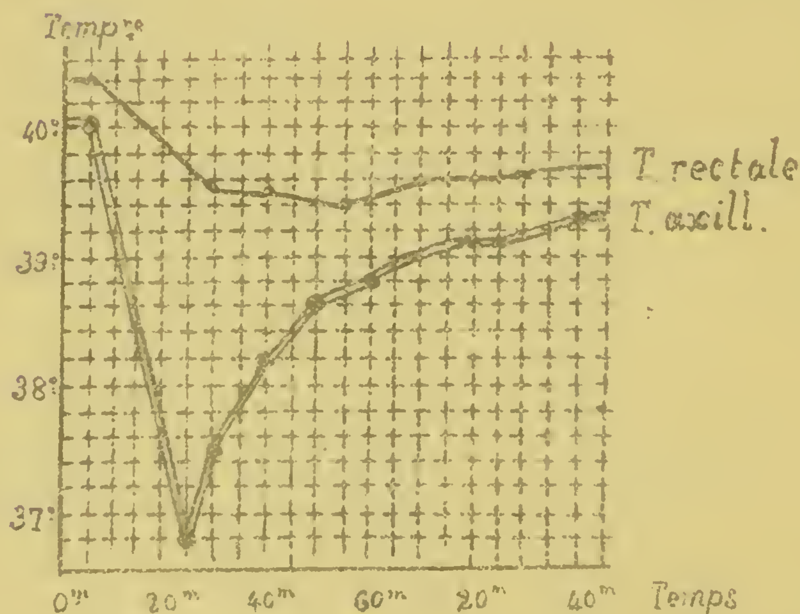
Pour vous montrer la puissance réfrigérante de ces bains nous allons prendre un chien, l'introduire dans une étuve sèche chauffée à 60° et l'y laisser jusqu'à ce qu'il soit en *polypnée*. A ce moment nous lui donnerons un bain réfrigérant à 25°. La polypnée cesse

(1) C. Sigalas. *Société de Biologie*. 16 décembre 1893.

presque aussitôt par l'effet du bain. Si le chien, au sortir de l'étuve chaude, n'avait pas été plongé dans le bain, la polypnée aurait



I. Sujet sain



II. Sujet fébricitant. Bain à 25°

duré fort longtemps (de 20 à 25 minutes). C'est donc l'action du bain froid qui a fait cesser l'état fébrile provoqué par la température élevée de l'étuve.

La méthode de Brandt agit-elle en enlevant de la chaleur au corps (médication réfrigérante) ou en diminuant la production de chaleur par l'organisme (médication antithermogène)? Libermeister d'abord et M. Sigalas récemment ont cherché comment variaient les combustions respiratoires.

M. Sigalas (1) a dosé l'oxygène absorbé : 1° *avant le bain*; 2° *pendant le bain*; 3° *après le bain*; 4° *lorsque la température est redevenue ascendante.*

Soient O_1, O_2, O_3, O_4, les valeurs trouvées pour ces 4 quantités.

L'expérience a montré que O_2 et O_3 étaient supérieures à O_1 et O_4. Il en résulte que pendant et immédiatement après le bain les combustions respiratoires sont augmentées; le bain est donc une *médication réfrigérante* et *non antithermogène.*

Ce résultat est très important à noter. Lorsqu'un malade est très affaibli, en état de misère physiologique, la méthode de Brandt ne lui est pas favorable car elle augmente les combustions et aggrave l'état du malade.

Au contraire, l'application de cette méthode donne de bons résultats lorsque les sujets sont vigoureux et non affaiblis.

Les bains réfrigérants agissent aussi sur la respiration, sur la circulation, sur le système nerveux.

La médication réfrigérante comprend encore :

L'affusion froide (douche froide).

L'enveloppement au drap mouillé (grand mailiot).

Si on compare la puissance réfrigérante de ces trois médications, on obtient par ordre de grandeur décroissante :

1° Le bain ;

2° L'enveloppement avec un drap mouillé ;

3° L'affusion.

2° *Réfrigération locale.* — La réfrigération par conductibilité peut être locale, c'est-à-dire n'intéresser qu'une portion plus ou moins restreinte du corps de l'être vivant. On divise ses effets en deux grandes catégories bien distinctes :

(1) C. Sigalas. *Société de Biologie*, 20 janvier 1891.

1° *Action antiphlogistique ou antiinflammatoire.*— Lorsqu'on applique sur l'organe enflammé de l'eau froide ou de la glace on empêche l'inflammation de s'aggraver et de s'étendre. Le froid arrête les mouvements amiboïdes des globules blancs ; ces derniers sont aussi engourdis et paralysés, ils ne peuvent plus sortir des vaisseaux sanguins et la diapédèse ne se produit plus.

La technique de cette médication est fort variable.

L'appareil du docteur Clément est constitué par une ceinture en caoutchouc que l'on place sur le tronc du malade et dans laquelle on fait circuler un courant d'eau froide ou glacée.

Un appareil analogue, en forme de sac allongé, pourra être placé sur la colonne vertébrale.

Les calottes réfrigérantes permettent de placer sur le crâne un matelas d'eau glacée. Elles sont ordinairement faites avec une vessie de porc, ou avec une calotte en caoutchouc. Dans la calotte réfrigérante du docteur Bitot un serpentin fonctionnant comme un siphon et parcouru par un courant d'eau glacée entoure la tête et la refroidit.

Dans le cas des maladies inflammatoires de l'estomac, du péritoine, de l'intestin, la réfrigération se fait par ingestion directe de boissons glacées (champagne glacé, bouillon froid).

2° *Action hémostatique.* — Le froid agit sur les vaisseaux veineux et les fait se contracter : il produit donc un effet *antihémorrhagique.*

On utilise la réfrigération locale par conductibilité dans les cas de gastrorrhagie, enterorrhagie, bronchorrhagie, épistaxis. On dirige le jet d'une douche froide sur la partie où se produit l'écoulement sanguin.

Pour produire l'hémostase après l'ablation des amygdales on fait gargariser le malade avec de l'eau glacée.

Réfrigération par vaporisation des liquides volatils

Ce mode de réfrigération qui peut être très intense dans certains cas est utilisé pour produire l'anesthésie et la révulsion. Le froid intense paralyse les houppes nerveuses sensitives du derme et produit *l'anesthésie locale.*

Les liquides dont on utilise l'évaporation pour produire l'anesthésie locale sont l'éther, le chlorure d'éthyle, le chlorure de méthyle. En passant à l'état gazeux ces corps absorbent une certaine quantité de chaleur qui leur est fournie par la surface du corps au contact de laquelle ils se vaporisent.

L'appareil de Richardson est un vaporisateur dans lequel un courant d'air produit l'évaporation d'un jet d'éther. L'éther entre en ébullition à 35° à la pression ordinaire.

L'appareil à chloréthyle est un tube rempli de chlorure d'éthyle et muni d'un ajustage de très faible calibre. L'appareil étant retourné, l'orifice en bas, il suffit de l'échauffer avec la main pour qu'un jet liquide très fin s'échappe de l'orifice avec une certaine pression. On peut avec ce jet refroidir et congeler une petite quantité d'eau placée dans un verre de montre. L'appareil à chlorure d'éthyle est utilisé pour produire l'anesthésie locale dans les petites opérations chirurgicales (extraction des dents).



Le chlorure d'éthyle entre en ébullition à 11°.

L'appareil à chlorure de méthyle, plus puissant que les précédents, est constitué par un tube métallique obturé au moyen d'un bouchon à vis et contenant du chlorure de méthyle liquide. Le chlorure de méthyle entrant en ébullition à — 23° est sous pression dans le réservoir et il suffit d'ouvrir le récipient préalablement renversé l'orifice en bas, pour qu'un jet liquide s'en échappe avec violence.

Le jet de chlorure de méthyle congèle l'eau, blanchit les tissus et les congèle de sorte qu'on peut les scier comme du bois.

Mélanges réfrigérants

L'action réfrigérante de certains mélanges (neige et sel marin, eau et chlorydrate d'ammoniaque) doit être rattachée au phénomène physique de la dissolution (passage de l'état solide à l'état liquide).

Le mélange de 2 parties de glace avec 1 partie de sel marin a d'abord été employé en chirurgie pour produire l'anesthésie locale par Arnott de Brighton, d'où le nom de mélange d'Arnott qu'on lui donne quelquefois.

Congélation des tissus

La congélation a été utilisée pour la conservation des tissus. Hunter avait espéré pouvoir congeler un individu, le laisser dans cet état pendant plusieurs années, puis, lui rendre la vie par un échauffement progressif. Ses expériences faites sur des carpes ont complètement échoué. Le froid détruit la structure des éléments anatomiques et désorganise les tissus.

Le Dr Larrey (1), dans son intéressant mémoire sur la campagne de Russie, établit que l'action progressive du froid sur l'homme produit les effets suivants : pâleur du visage, affaiblissement de la vue, affaiblissement musculaire, engourdissement, tendance au sommeil. Cette tendance est telle que les hommes les plus raisonnables, placés dans ces conditions, et sachant que le sommeil c'est la mort, cèdent au besoin de sommeil qui les accable et ne se réveillent pas.

Martius est arrivé aux mêmes conclusions.

---

(1) *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*. Tome 12. Froid (pathologique). Laveran.

La congélation des tissus a été utilisée pour la conservation des sujets dans les expertises médico-légales afin d'empêcher les pièces de se détériorer.

Les sujets congelés pouvant être sciés comme les corps solides, c'est-à-dire sans que les rapports de leurs divers organes soient modifiés, servent à faire des sections utilisées dans les études anatomiques.



Dix-septième Leçon

Application de la chaleur à la Bactériologie

Les applications de la chaleur aux sciences médicales sont très nombreuses et le cadre de ces leçons ne nous permet pas de les passer toutes en revue.

Une des plus importantes est l'application de la chaleur à la bactériologie.

La bactériologie, nouvelle branche de la science créée par Pasteur, se propose deux buts principaux :

1° Culture des germes pathogènes ;

2° Destruction des germes pathogènes.

Ces germes morbides sont cultivés et détruits dans des *étuves* spéciales que nous allons étudier.

On peut les séparer en deux groupes :

1° *Etuves à culture.*

2° *Etuves à stérilisation.*

I. Étuves à culture

Les germes pathogènes ne peuvent vivre et se développer que s'ils sont maintenus à des températures voisines de 40°. Pour pro-

duire des cultures de ces germes, on devra donc les maintenir dans une atmosphère dont la température soit aussi favorable que possible au développement et à la reproduction de ces êtres.

On les place habituellement dans des milieux remplis par l'air atmosphérique et portés à des températures comprises entre 35° et 45°. Ces milieux gazeux portent le nom d'Étuves à culture.

Une étuve à culture devra comprendre trois parties distinctes :

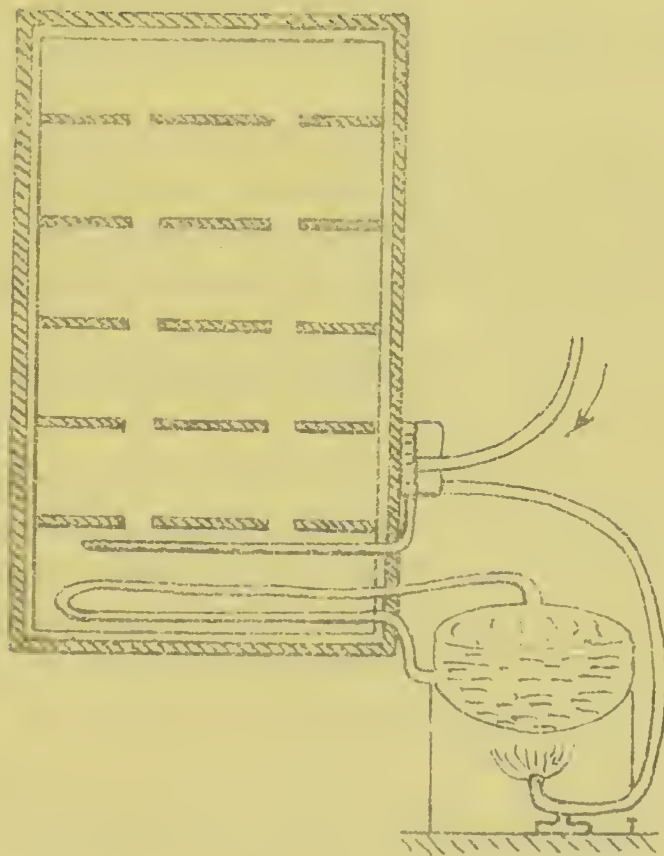
1° L'étuve proprement dite.

2° Une source de chaleur.

3° Un régulateur de température.

Nous allons passer en revue les principaux modèles :

Etuve de Pasteur. — C'est une grande armoire en bois à double



enveloppe, munie d'une double porte vitrée et contenant des étagères sur lesquelles on place les cultures.

Une chaudière indépendante de l'étuve envoie de la vapeur d'eau

dans un serpentin formant thermosiphon à la partie inférieure de l'armoire. L'eau résultant de la condensation de la vapeur retombe dans la chaudière où elle est vaporisée de nouveau.

La chaleur est fournie à la chaudière au moyen d'un bec de gaz muni d'un régulateur de température que nous étudierons tout à l'heure.

Avec une telle disposition, la partie inférieure de l'étuve est plus chaude que les parties élevées ; la température des étagères du haut sera donc moins élevée que celle des étagères du fond.

Etuve de Roux. — Cette étuve nécessite une source calorifique très intense. M. Roux, élève de Pasteur, en a augmenté le rendement en plaçant la source de chaleur au-dessous de l'étuve et en recueillant les produits de la combustion du gaz d'éclairage dans des tubes verticaux en cuivre qui traversent l'étuve et débouchent à la partie supérieure où une cheminée d'appel les conduit au dehors.

L'appareil est muni d'un régulateur de température.

Etuve de Babès. — L'étuve de Babès est en cuivre rouge, à double enveloppe et est munie d'une porte à deux lames de verre superposées. L'espace qui existe entre les deux enveloppes est rempli d'eau et de glycérine.

L'étuve est munie d'un régulateur de température et est chauffée au moyen d'un bec de gaz.

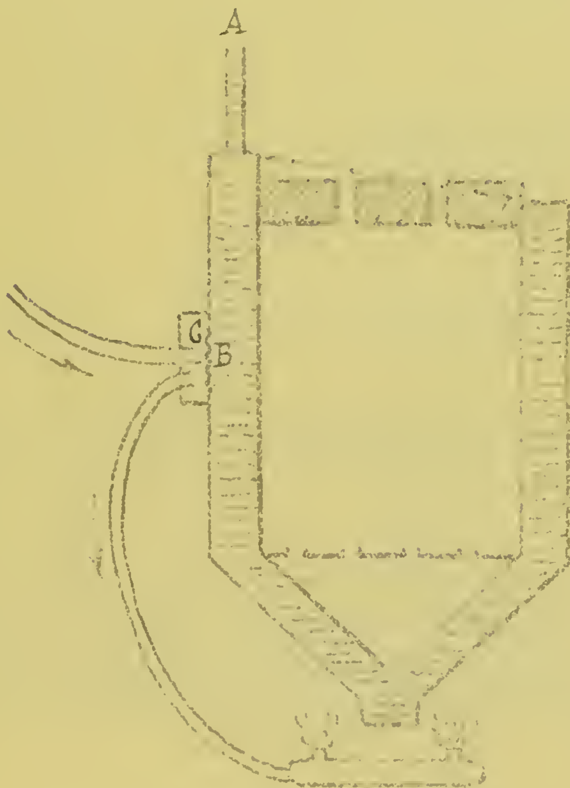
Etuve auto-régulatrice de d'Arsonval. — L'étuve de d'Arsonval, très commode et très transportable, est très répandue. Elle se compose de deux réservoirs cylindro-coniques concentriques limitant entre eux un espace annulaire rempli d'eau. Les cultures seront introduites dans le réservoir intérieur au moyen d'une grande ouverture placée à la partie supérieure de l'appareil.

L'étuve a ceci de particulier que le matelas d'eau réagit tout entier sur le bec de gaz qui l'échauffe de façon à produire directement la régulation de température, d'où le nom d'étuve auto-régulatrice donné à l'appareil.

Lorsque l'eau s'échauffe, elle se dilate et s'élève dans le tube A. La membrane de caoutchouc B qui obture la tubulure latérale C subit alors une pression hydrostatique croissante, elle se bombe de plus en plus vers le dehors et vient s'appliquer contre le tube

d'arrivée du gaz d'éclairage. En réglant convenablement la quantité d'eau introduite dans le tube A et la distance du tuyau de gaz à la membrane, on pourra maintenir l'étuve à une température quelconque mais constante.

La forme inclinée que présente la partie supérieure de l'appareil est destinée à empêcher les bulles d'air de séjourner à la partie supérieure du matelas d'eau.



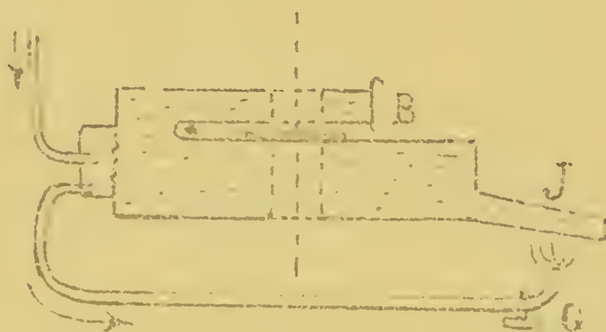
M. d'Arsonval a modifié ce premier modèle en plusieurs points. La lame de caoutchouc du régulateur est remplacée par une lame d'acier ondulé, analogue à celles des baromètres anéroïdes. Une porte latérale permet l'introduction des cultures dans l'étuve et le couvercle devient inutile. Ce modèle est d'un maniement plus commode que le précédent.

Étuve auto-régulatrice de Vignal. — La chambre chaude de Vignal permet d'observer des bactéries à des températures constantes et assez élevées, sous le microscope.

C'est une petite étuve de d'Arsonval, à manchon d'eau et à régulateur. Le bec de gaz G chauffe l'extrémité inclinée J.

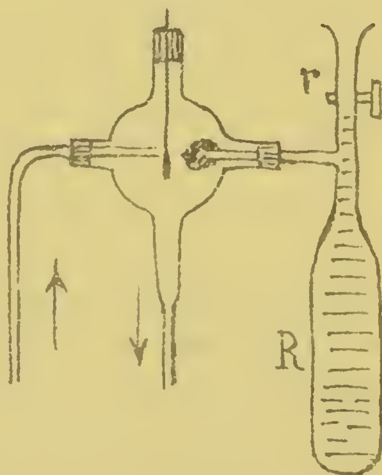
Cet appareil peut être placé sur la platine d'un microscope.

On introduit la préparation dans la cavité de l'étuve par la petite porte B que l'on referme aussitôt.



Deux ouvertures convenablement placées dans les parois supérieure et inférieure permettent d'éclairer la préparation et de l'observer.

Régulateur de température de Schlœsing. — Dans ce régulateur la dilatation du mercure contenu dans un gros réservoir thermométrique R refoule une membrane en baudruche qui l'obture contre une lame métallique placée en regard du tube d'arrivée du gaz d'éclairage.



Pour se servir de ce régulateur on introduit le réservoir R dans l'étuve dont on veut maintenir la température constante. On chauffe jusqu'à ce qu'on obtienne la température voulue, puis on ferme le robinet r limitant ainsi dans le réservoir une quantité de mercure qui, par sa dilatation, agira sur la baudruche.

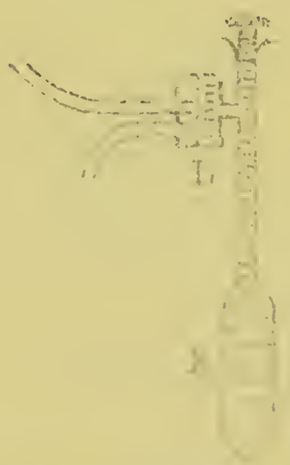
Régulateur de température de Chancel. — C'est encore un régulateur à mercure. Le tube d'arrivée du gaz d'éclairage est taillé en biseau et vient lécher la surface liquide.

La dilatation du mercure élève le niveau de sa surface et diminue le calibre de l'orifice du tube.

Un petit trou percé au-dessus du biseau empêche le courant gazeux d'être complètement arrêté et le bec de gaz de s'éteindre.



Régulateur de température de d'Arsonval. — Cet appareil que nous



avons déjà partiellement décrit se compose essentiellement d'un gros réservoir métallique R rempli d'eau ou de pétrole, qu'on in-

troduit dans le récipient dont la température doit être maintenue constante.

On obtient la fermeture hermétique du réservoir R au moyen d'un bouchon à vis. Le liquide comprimé agit sur la lame d'acier ondulé L.

II. Étuves à stérilisation

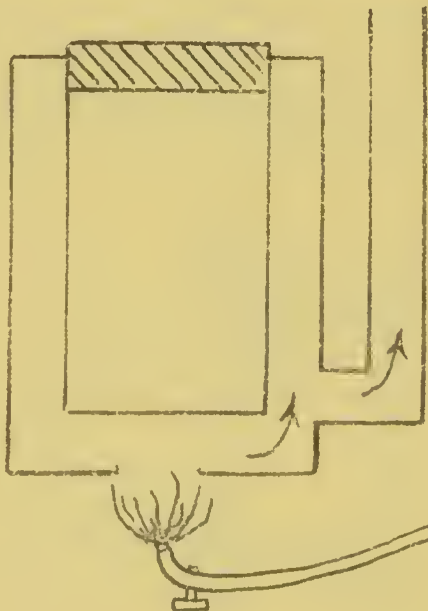
On n'est certain de détruire entièrement tous les germes pathogènes que si on porte à une température supérieure à 100° le milieu qui les contient.

Dans une atmosphère fortement chargée de vapeur d'eau la stérilisation est complète à 100-110°. Dans l'air sec il faut chauffer au moins jusqu'à 150°.

Certains appareils à stérilisation sont fort simples. Pour stériliser la pointe des aiguilles des seringues de Pravaz on les *flambe* dans la flamme d'un bec de gaz ou d'une lampe à alcool.

Pour stériliser les ballons à culture ou les appareils de chirurgie on se sert de fours à flamber.

Four à flamber de Pasteur. — C'est un appareil cylindrique en



tôle, à double enveloppe, chauffé au moyen d'un fort bec de gaz.

Les gaz chauds qui proviennent de la combustion circulent dans l'espace annulaire.

Pour stériliser des appareils de verrerie on les place dans un panier métallique qu'on descend dans l'espace intérieur du four.

La stérilisation est produite ici dans *l'air sec*. Aucun régulateur de température n'est adjoint à l'appareil et il est prudent d'observer la température au moyen d'un thermomètre fixé à la partie supérieure du four.

Autoclaves. — Les autoclaves sont des récipients hermétiquement clos à la partie inférieure desquels on place les objets que l'on veut stériliser. Un manomètre indique à chaque instant la pression de la vapeur et on pourra au moyen des tables de Regnault en déduire la température à laquelle se trouve la vapeur et les objets à stériliser.

Tension maxima de la vapeur d'eau	1^{atm}	$1^{atm}20$	1,40	1,66	1,96
Température d'ébullition de l'eau	100°	105°	110°	115°	120°

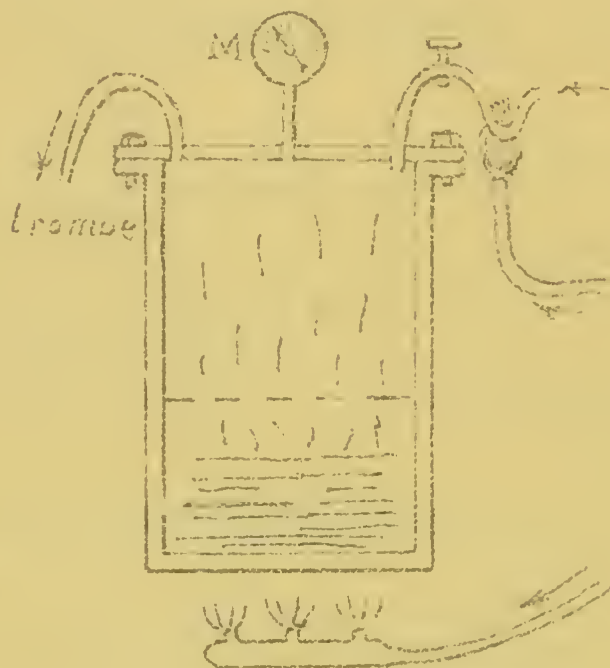
Autoclave de Chamberland. — L'autoclave de Chamberland est une marmite de Papin perfectionnée. Son couvercle, uni à la chaudière au moyen de fortes vis de pression, est muni d'un manomètre et d'une soupape de sûreté.

La chaudière est chauffée au moyen d'une corronne de forts brûleurs et est surmontée d'un panier métallique dans lequel on met les ballons à stériliser.

Autoclave de Sorel. — L'autoclave de Sorel permet de stériliser les objets de pansement (serviettes, éponges...) dans la vapeur d'eau surchauffée et de les dessécher ensuite. Il fonctionne comme le précédent et contient en outre une trompe à vide et un tube en platine qui peut être chauffé au rouge au moyen d'un bec de gaz auxiliaire.

La stérilisation étant terminée, on chauffe le tube de platine, on laisse échapper la vapeur d'eau sous pression et on fait fonctionner la trompe. De l'air sec et chaud pénètre ainsi dans l'étuve par le tube de platine et est entraîné par la trompe. Le courant d'air sec ainsi produit sèche entièrement les objets placés dans l'appareil.

Le Dr Gendron a construit un autoclave permettant de stériliser en grand l'eau et les objets de pansement.



Etuve de Budenberg. — Elle permet de stériliser les matières organiques (gélatine...) au sein desquelles on veut faire des cultures ultérieures.

Etuve de Poupinel. — C'est une caisse en cuivre chauffée par de forts becs de gaz et dans laquelle on peut stériliser *à l'air sec* les instruments de chirurgie (bistouris, pinces, etc.).

Il faut éviter de trop élever la température de l'étuve, sans quoi on détruirait la trempe des instruments en acier qu'elle contient.

Application à l'hygiène — Désinfection

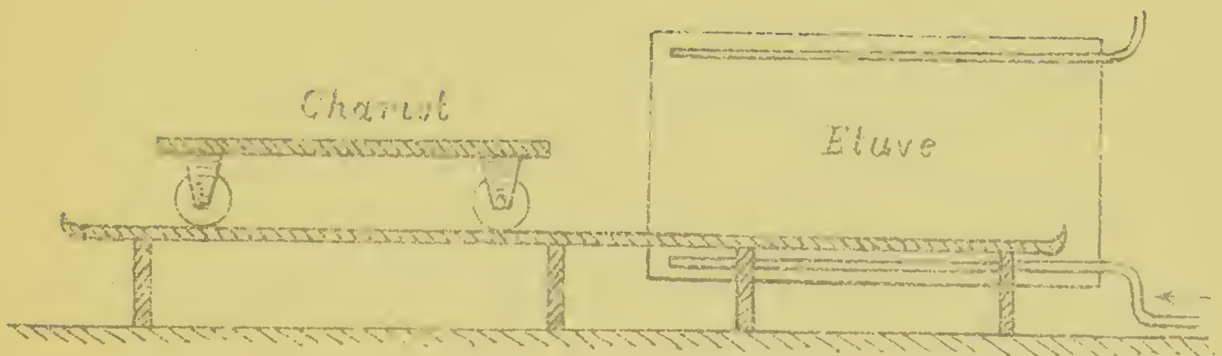
La désinfection a pour but de détruire les germes morbides des vêtements, objets de literie, tapis, rideaux contaminés par des individus atteints de maladies contagieuses. La désinfection doit être *complète, rapide* et *ne doit pas altérer les tissus* et les couleurs des étoffes.

L'air sec ne convient guère pour produire ces effets, car la laine des vêtements et des matelas est presque imperméable à l'air chaud.

Le Dr Vallin a fait à ce sujet une expérience très concluante. Ayant placé un thermomètre à maxima dans l'épaisseur d'un matelas il a plongé le tout dans une étuve fortement chauffée. Au bout d'un certain temps il a retiré le matelas ; le thermomètre indiquait à peine 50°.

Nous pouvons répéter cette expérience et placer dans une étuve de Gay-Lussac un thermomètre enveloppé de laine. Dans une heure nous constaterons que sa température ne s'est pas sensiblement élevée.

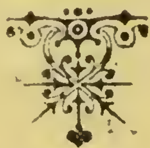
On doit donc opérer la désinfection dans la vapeur d'eau saturante ; la pénétration sera plus complète et la stérilisation plus efficace.



Etuve de Geneste et Herscher.

L'étuve de Geneste et Herscher remplit ce but. Elle se compose d'un grand récipient cylindrique horizontal dans lequel on place les objets à désinfecter. Une chaudière spéciale fournit la vapeur d'eau nécessaire.

Après la désinfection qui dure 15 minutes, on fait arriver dans le récipient un courant d'air sec et pur au moyen duquel on dessèche les objets. Ces étuves à vapeur sous pression produisent la désinfection à 108° ou 109°. Elles sont *à marche continue*.



Dix-huitième Leçon

Chauffage des lieux habités

La régulation thermique s'effectue chez les animaux homéothermes sous l'influence du système nerveux : 1° Par l'augmentation des combustions intra-organiques lorsque la température tend à s'abaisser ; 2° par l'évaporation des liquides (sueur, évaporation pulmonaire...) lorsque la température tend à s'élever.

Cette auto-régulation de sa température par l'animal homéotherme lui permet d'affronter les froids les plus intenses comme les températures les plus élevées de la zone torride, et nous avons vu dans les leçons précédentes que l'homéothermie de l'homme en particulier, à l'état sain, était toujours conservée. Donc au point de vue du résultat brut la température du milieu dans lequel est plongé l'animal homéotherme importe peu ; en est-il de même à un point de vue physiologiquement économique ? Il est facile de s'assurer que non. Nous avons vu en effet que chez les animaux exposés au froid, de même que chez les malades sur lesquels on applique la méthode de Brandt, les combustions intra-organiques mesurées par la quantité d'oxygène absorbé s'accroissent d'autant plus que le milieu extérieur tend à enlever plus de chaleur à l'organisme ; en un mot il y a *hypergénèse thermique*. Il en résulte une dépense que l'homme, dans les conditions de civilisation avancée,

a songé à éviter en modifiant les conditions de température du milieu dans lequel il vit, c'est-à-dire en chauffant artificiellement la maison qu'il habite.

Il semble, au point de vue de l'économie physiologique, que la température la meilleure à maintenir dans les appartements habités serait la température même de l'homme. Alors, en effet, les pertes du fait du milieu extérieur seraient réduites à zéro. En réalité il n'en est rien et l'on trouve par l'expérience que la température qui convient le mieux dans les lieux habités varie entre 12° et 20°. Ceci s'explique d'ailleurs très facilement par l'impossibilité qu'il y a à ce qu'un être vivant cesse à un moment quelconque de sa vie de produire de la chaleur.

La température optima d'un appartement entre les limites de 12° et 20° indiquées plus haut dépend des impressions diverses de la personne ou des personnes qui l'habitent et ici nous retombons dans l'indétermination de nos sensations subjectives qui fait trouver *chaud* ou *froid* un même appartement, suivant l'âge, le tempérament, les habitudes, les états antérieurs de repos ou de mouvement, les vêtements, etc. de la personne interrogée. Malgré cette indétermination on a pu rapprocher les appréciations d'un grand nombre de personnes des indications thermométriques et le tableau suivant emprunté au Traité de Physique industrielle de M. Ser donne les températures intérieures que l'on ne doit pas dépasser dans les divers locaux :

Eglises	12° à 14°
Ateliers, casernes	14° à 15°
Crèches, salles d'asile, écoles	15° à 16°
Prisons	15° à 16°
Bureaux	16° à 17°
Hôpitaux	16° à 18°
Amphithéâtres de cours	16° à 18°
Salles d'assemblées	17° à 19°
Théâtres	19° à 20°

Comment on prend la température d'un appartement. — Il peut être fort utile au médecin de déterminer la température d'un appartement. Les chambres de malades, les salles d'hôpitaux et sur-

tout les salles modernes où l'on pratique les grandes opérations chirurgicales, doivent avoir des températures à peu près constantes que le médecin doit surveiller. Or rien n'est plus difficile que de prendre utilement la température d'un tel milieu. Cette température varie en effet suivant la position du thermomètre : 1° Dans le sens de la hauteur ; 2° dans une même couche horizontale. Dans une pièce chauffée par de l'air chaud en effet, celui-ci, au moment de son arrivée, gagne les couches voisines du plafond, puis peu à peu, à mesure qu'il se refroidit, se rapproche du sol, et il peut exister une différence de température de 10° et plus entre ces deux couches voisines.

La hauteur à laquelle il convient de placer le thermomètre est celle de 1m50 à 1m70 au-dessus du sol. C'est la couche qui sert à la respiration ; de plus cette hauteur est la plus commode pour la lecture.

Dans cette couche, une place quelconque ne conviendra pas au thermomètre. Ainsi il faut éviter de le placer trop près d'une fenêtre, car les indications fournies dans ces conditions seraient notablement trop faibles. Il en est de même si le thermomètre, surtout si son échelle est métallique, est appliqué contre un mur dont l'autre face est exposée à l'action refroidissante de l'atmosphère ; l'erreur commise l'est encore ici par défaut. Elle l'est par excès si on place le thermomètre à côté d'un appareil de chauffage, sur une cheminée, non loin d'un bec de gaz, contre un tuyau d'air chaud ou de fumée. Nous avons disposé dans cet amphithéâtre un certain nombre de thermomètres pour vous démontrer expérimentalement ces erreurs ; un seul est placé au milieu de la pièce, suspendu par un fil à une hauteur de 1m60 ; c'est ainsi que nous vous recommandons de placer ceux dont vous vous servirez. Les indications des autres thermomètres diffèrent, quelques uns de plusieurs degrés.

Le thermomètre placé ainsi au milieu de la pièce à une hauteur moyenne de 1m60 est soumis à la somme des actions calorifiques de l'air, des parois, de la ou des sources de chaleur, etc., il indique donc bien la résultante thermique du milieu sur l'individu appelé à y vivre et le médecin le consultera utilement.

Évaluation des quantités de chaleur nécessaires au chauffage. — Tout d'abord cette quantité de chaleur dépendra du climat, c'est-à-

dire plus explicitement du nombre de jours pendant lesquels la température moyenne extérieure restera inférieure à 12°, température à laquelle nous supposerons que le chauffage est inutile. A Bordeaux on peut estimer que le chauffage commence généralement avec la dernière quinzaine d'octobre et finit avec la première d'avril. La durée de la période de chauffage est donc de six mois.

Pendant ces six mois la quantité de chaleur à dépenser pour le chauffage est fort variable évidemment ; nous supposerons dans ce qui va suivre que nous nous plaçons dans des conditions moyennes.

Calcul de la chaleur perdue. — L'idéal à atteindre dans le chauffage d'une maison, d'un appartement, d'un hôpital, serait de lui conserver toujours la même température, cette température une fois choisie, quelles que soient les variations extérieures. La maison, l'appartement, l'hôpital, ressembleraient alors à nos étuves à culture à température constante. Dans ce cas qui est le plus simple, la quantité de chaleur à fournir par le chauffage serait exactement égale à celle perdue pendant le même temps.

Calculons cette chaleur perdue ; elle se compose de deux termes :

1° Chaleur qui traversant les parois se dissipe dans l'atmosphère ;

2° Chaleur emportée par l'air nécessaire à la ventilation.

La chaleur qui est transmise à travers les parois dépend : 1° de la surface des parois en contact avec l'atmosphère ; 2° de la différence de température entre les deux faces de la paroi ; 3° enfin d'un coefficient lui-même sous la dépendance de la nature et de l'épaisseur de la paroi.

Soit P la quantité de chaleur qui traverse la paroi dans l'unité de temps.

S la surface de la paroi (en mètres carrés).

T et t les températures intérieure et extérieure.

K le coefficient indiqué plus haut.

on a : $P = KS(T - t)$

Quelques explications doivent être fournies au sujet de K. Les parois de nos maisons sont constituées par des matériaux fort différents : les murs varient d'épaisseur et de constitution, les fenê-

tres vitrées, le sol pour le rez-de-chaussée, les planchers et les plafonds. On comprend qu'un même coefficient ne puisse être appliqué dans le calcul à des parois aussi différentes ; voici ceux dont on se sert :

Murs	K	varie de 1,50 à 2,14.
Vitres	K	varie de 3,50 à 4,50.
Plafond	K	.... 1,80.
Sol	K	.... 1.

Ce tableau indique nettement la quantité considérable de chaleur qui se perd par les baies vitrées. On devra donc, pour avoir un calcul exact évaluer à part ces diverses surfaces.

La chaleur nécessaire pour chauffer l'air de ventilation sera évidemment, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à l'intensité de cette ventilation.

Soit V le volume d'air qui entre dans l'appartement dans l'unité de temps. S'il est pris à l'extérieur, ce qui est le cas le plus fréquent, sa température est t.

Soit c sa chaleur spécifique,

d le poids de l'unité de volume,

Q la quantité de chaleur fournie à l'air de ventilation.

On a ; $Q = V\,c\,d\,(T - t)$.

La quantité totale de chaleur perdue a pour expression :

$$\text{Chaleur perdue} = P + Q = (K\,S + V\,c\,d)\,(T - t).$$

Comme nous avons supposé que le régime permanent est établi, c'est-à-dire que la chaleur à fournir est égale à la chaleur perdue, on a :

$$\text{Chaleur à fournir} = (K\,S + V\,c\,d)\,(T - t).$$

Sources indirectes de chaleur dans les lieux habités. — En réalité il n'en est pas tout à fait ainsi, car, du moment où nous supposons le milieu habité par l'homme il y a lieu de faire intervenir les sources indirectes de chaleur qui peuvent venir en aide aux appareils de chauffage.

A. *Chaleur produite par les habitants.* — Ces sources indirectes de chaleur sont en première ligne les habitants eux-mêmes. Nous avons vu en effet (8e leçon page 59) que la chaleur fournie par un

homme adulte (bien que très variable avec les diverses circonstances), oscillait autour de 100 grandes calories par heure. Cette quantité de chaleur peut être négligée pour un appartement habité par un très petit nombre de personnes, mais il n'en est pas ainsi pour une salle d'hôpital, une salle de réunion, un amphithéâtre [illegible] que celui-ci. Lorsque l'amphithéâtre est occupé par 120 auditeurs, la quantité de chaleur dégagée atteint [illegible] par heure, quantité plus que suffisante pour maintenir à 15° sa température intérieure, même par les plus grands froids.

B. *Chaleur produite par les appareils d'éclairage.* — Une seconde source indirecte de chaleur, importante à connaître, consiste dans les appareils d'éclairage que l'on a coutume d'allumer quand vient le soir dans les lieux habités. Ces appareils d'éclairage fournissent une grande quantité de chaleur si ce sont des becs de gaz ou des bougies, une médiocre si ce sont des lampes à incandescence. Dans une salle largement éclairée au gaz, tout appareil de chauffage peut devenir inutile dès le soir (un bec de gaz brûlant à l'heure 100 litres dégage pendant le même temps 600 cal.-kilogr.-deg.).

Quantités de chaleur mises en jeu dans le chauffage des maisons.— Si on calcule sur les données précédentes, comme l'a fait M. Ser. les quantités de chaleur qui doivent être fournies à une maison comprenant 3 étages, ayant 20 mètres de longueur, 10 de largeur, 12 de hauteur, percée de 18 fenêtres, habitée par 60 personnes, éclairée par 12 becs de gaz allumés 4 heures par jour, (ces conditions sont à peu près celles de l'un des pavillons de l'hôpital Saint-André de Bordeaux), on trouve que pour maintenir la température à 16° lorsqu'elle est au dehors 6° il faut à peu près dépenser 16.000^cal par heure. Cette dépense peut doubler si la température extérieure atteint et dépasse 0°.

Chauffage intermittent — Inertie calorifique. — Les lieux habités sont malheureusement très rares dans lesquels le régime une fois établi au commencement de l'hiver on maintient constante la température intérieure pendant toute la saison froide. Habituellement le chauffage est intermittent. La température s'élève au moment de l'allumage des foyers, atteint un certain niveau pendant le jour,

puis s'abaisse ensuite, les foyers étant éteints pendant la nuit. Aux quantités de chaleur déjà connues à fournir par le foyer (chaleur de transmission et de ventilation) vient s'en ajouter une nouvelle, celle qui est destinée à élever la température des parois de l'enceinte. Elle est évidemment proportionnelle à la masse dont il faut élever la température et à sa chaleur spécifique.

La puissance de l'appareil de chauffage doit donc être plus grande dans le cas d'un chauffage intermittent que dans le cas d'un régime continu.

L'inertie calorifique d'une enceinte est mesurée par la durée de son refroidissement lorsque sa température ayant été portée à un certain degré par l'appareil de chauffage, celui-ci cesse de fonctionner.

Soit c la chaleur spécifique moyenne des parois on a pour valeur de la durée du refroidissement Θ :

$$\Theta = \frac{c}{KS + Vcd}$$

L'inertie calorifique est proportionnelle à la chaleur spécifique, inversement proportionnelle à la chaleur perdue par transmission et par la ventilation.

Appareils de chauffage

Nous venons de voir quelle est la quantité de chaleur à produire pour maintenir à un niveau suffisamment élevé la température d'une enceinte habitée ; il nous reste à déterminer quelles sont les sources de chaleur utilisées pour cela et leurs conditions de fonctionnement.

Toutes les sources de chaleur utilisées dans les lieux habités utilisent directement ou indirectement la combustion des combustibles les plus courants dans le commerce, bois, charbon, houille, etc. Dans quelques cas très particuliers on s'est servi récemment du courant électrique pour le chauffage de quelques appartements, mais ce mode de chauffage, d'un emploi courant pour les usages

domestiques en Amérique est encore trop dispendieux au prix moyen de l'énergie électrique en France (0 fr. 10 c. l'hectowatt-heure).

Les appareils de chauffage aujourd'hui communément employés peuvent se diviser en trois classes distinctes :

1° Les cheminées ;

2° Les poêles ;

3° Les calorifères.

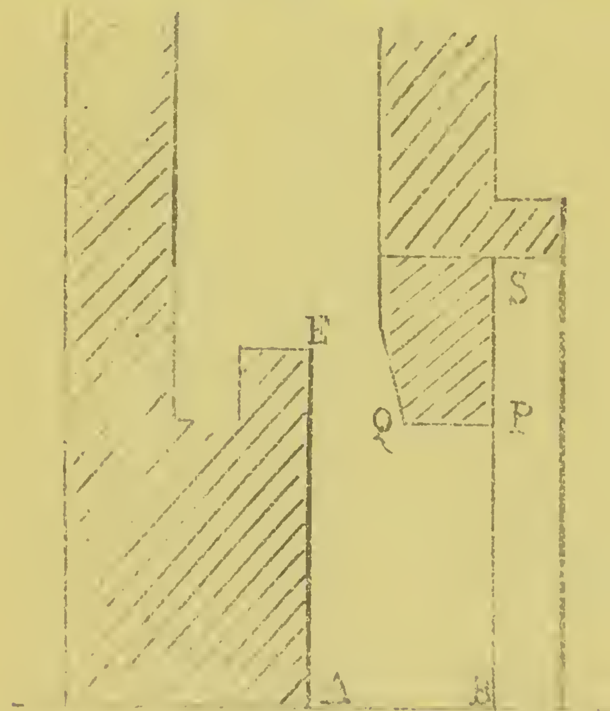
Nous allons les étudier successivement.



Dix-neuvième Leçon

Etude des cheminées

Sans remonter à la première origine des cheminées, qui nous intéresse peu, nous pouvons définir la cheminée un foyer ouvert, adossé contre un mur extérieur prolongé par un conduit vertical

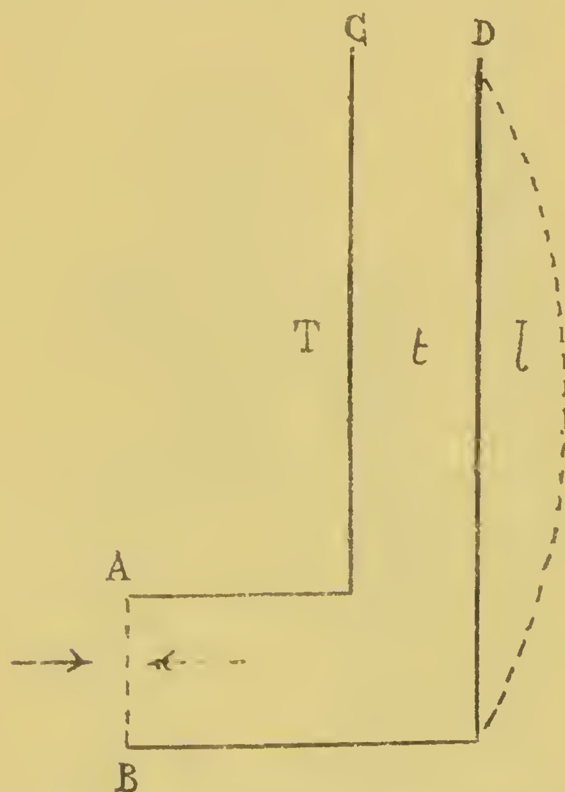


destiné à porter à l'extérieur les gaz provenant de la combustion. Dans la figure que nous reproduisons ci-dessus, AB est *l'âtre* de la cheminée, SP *le manteau*, QE la *gorge*.

Le combustible brûlé est habituellement le bois, son rayonnement est agréable et modéré, et, pendant la combustion la flamme en est gaie. On n'emploie la houille dans les cheminées que par raison d'économie.

Par quel mécanisme s'effectue la combustion dans les cheminées ? L'air froid arrive en CF en contact avec le combustible, une partie est transformée en acide carbonique par la combustion, l'autre partie s'échappe avec l'acide carbonique formé, vapeur d'eau, hydrogène, carbures, etc. par le tuyau de la cheminée. Cet appel de l'air extérieur et ce rejet dans l'atmosphère des gaz de la combustion est ce qu'on appelle le *tirage* de la cheminée.

Causes physiques du tirage des cheminées. — Pour vous expliquer le tirage des cheminées soit une cheminée ABCD de hauteur l et



supposons pour un instant que son foyer soit obturé par une mince membrane AB ; calculons les pressions qui agissent en sens inverse de part et d'autre de la membrane.

La pression intérieure se compose de la pression atmosphérique exercée en CD et du poids de l'air contenu dans la cheminée.

Soit p le poids de cet air.

d le poids du litre d'air à 0°.

α son coefficient de dilatation.

S la section de la cheminée, on aura :

$$p = lS \frac{d}{1 + \alpha T}$$

T est la température intérieure de la cheminée.

La pression extérieure exercée en AB se compose de la pression atmosphérique et d'une colonne d'air de hauteur l, de section S et dont la température t est celle de l'appartement.

Le poids p' de cette colonne d'air sera :

$$p' = l S \frac{d}{1 + \alpha t}$$

Le tirage dépendra de p' — p qui a pour expression :

$$\text{tirage} = p' - p = l S d \alpha \frac{T - t}{(1 + \alpha t)(1 + a T)}$$

Cette formule montre que la pression sur la tranche gazeuse supposée immobile qui ferme le foyer est proportionnelle à la hauteur de la cheminée et à la différence des températures dans le tuyau de la cheminée et à l'extérieur.

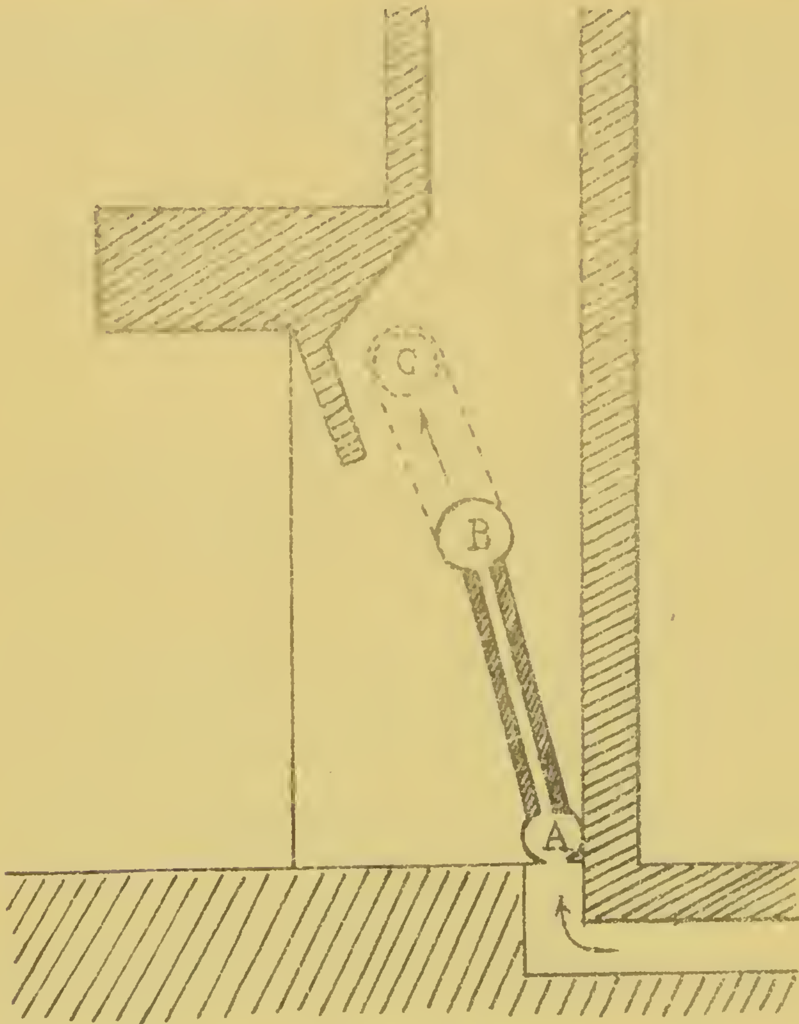
Une cheminée *fume* lorsque son tirage est nul ou lorsqu'il s'effectue en sens contraire (refoulement). Ceci est dû à une hauteur insuffisante du tuyau et plus souvent à la basse température de ce tuyau au moment de l'allumage. Les tuyaux de fumée sont en effet creusés habituellement dans les murs extérieurs et exposés par conséquent à toutes les causes de refroidissement.

Rendement de la cheminée simple.— La cheminée simple, à cause de l'appel qu'elle provoque par son tirage,est un excellent appareil de ventilation. Mais au point de vue du rendement thermique, c'est-à-dire de la chaleur vraiment utilisée au chauffage, c'est un appareil fort mauvais. La chaleur fournie par cet appareil à l'appartement dans lequel il brûle l'est toute entière par rayonnement. Or, même avec la houille, on ne peut compter que sur 15 pour 100 de la chaleur totale ; avec le bois le rendement est encore plus faible. Tout le reste est emporté par le tuyau de ventilation et perdu dans l'atmosphère.

Cheminées perfectionnées.— Le but à atteindre était de conserver les avantages des cheminées comme appareils de ventilation et d'élever leur rendement.

Les principaux types sont ceux de Peclet, Jolly, Fondet.

Dans la cheminée de Peclet, très intéressante parce qu'elle a été construite par un physicien, un tuyau placé verticalement dans la cheminée amène dans l'appartement de l'air venant de l'extérieur.



Cet air froid s'échauffe dans le tuyau dont la face extérieure est chauffée par les gaz venant du foyer.

La cheminée Fondet, très répandue en France, comprend une caisse en fonte A que l'on place dans l'âtre et qui communique avec une seconde caisse B par une série de tubes prismatiques disposés en quinconce.

L'air froid extérieur arrive en A, s'échauffe dans son trajet AB au contact du combustible puis est émis dans la pièce à chauffer par

deux bouches de chaleur C situées sur les parois latérales de la cheminée.

Etude des poëles

Un poële est formé par un foyer clos de toutes parts avec porte d'entrée de l'air et tuyau de fumée ; il agit par rayonnement obscur et est placé dans l'intérieur de l'enceinte à chauffer.

Le rendement des poëles, très supérieur à celui des cheminées, peut atteindre 70 pour 100, car la quantité d'air introduite dans le foyer est celle seulement nécessaire à la combustion.

Les inconvénients des poëles sont : au point de vue esthétique, leur peu d'élégance ; au point de vue hygiènique, le dessèchement de l'air de la pièce, le dégagement d'oxyde de carbone, poison des plus violents.



Les poëles modernes, mobiles et à combustion lente ont ces inconvénients à un moindre degré, cependant leur tirage doit être surveillé avec soin si l'on ne veut pas voir arriver les accidents graves produits par l'oxyde de carbone refoulé.

La figure ci-dessus montre la coup edu poële Walker à alimenta

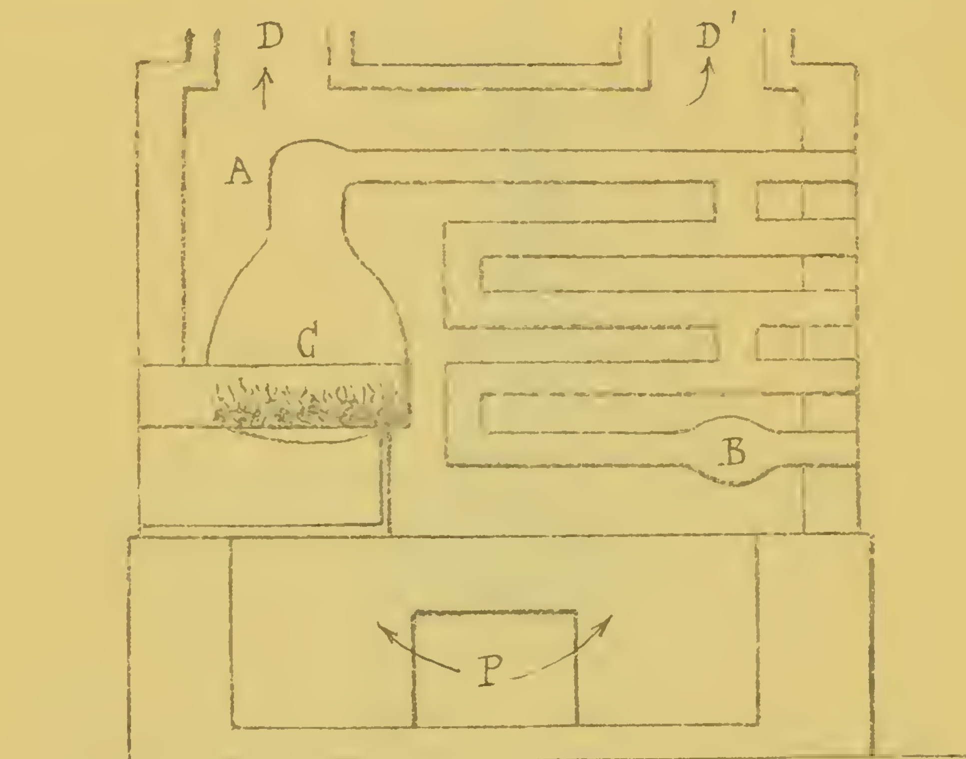
tion continue, dans lequel on introduit le combustible à intervalles éloignés (deux fois en 24 heures). Les rebords du couvercle ferment hermétiquement et plongent dans un bain de sable.

Étude des calorifères

Les calorifères sont des appareils de chauffage situés en dehors des appartements et pouvant chauffer à la fois un grand nombre de pièces.

On les divise en calorifères à *air chaud*, à *eau chaude*, à *vapeur*.

Dans le calorifère à air chaud, on fait brûler le combustible dans une cloche en fonte C. Les gaz chauds provenant de la combustion circulent dans des tubes horizontaux et s'échappent en B dans la cheminée.



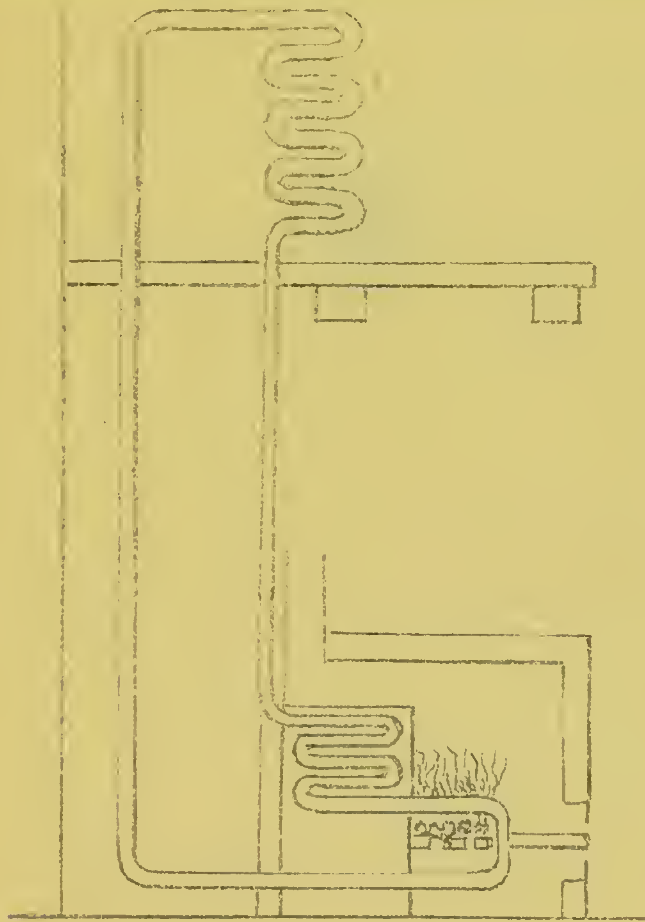
L'air destiné à chauffer les appartements arrive en P, s'échauffe au contact des tuyaux et de la cloche et sort en D, D' puis est dis-

tribué dans les diverses directions au moyen de gaines convenablement disposées.

Dans le calorifère à eau chaude, l'eau chauffée dans une chaudière est transportée par des tuyaux dans les appartements à chauffer.

Le calorifère Perkins est le plus employé ; il est représenté ci-dessous. Il est constitué par un long tube de petit diamètre, rempli d'eau chaude, enroulé en serpentin dans les divers appartements à chauffer et passant dans un fourneau où il est soumis à l'action du feu. L'eau ainsi chauffée s'élève dans l'appareil et on obtient une circulation continue.

Dans cet appareil l'eau sort du fourneau à une température qui peut atteindre 300°. Cet appareil est donc *à haute pression*.



Dans les calorifères à vapeur on lance un courant de vapeur d'eau dans des tubes métalliques qui la distribuent dans les divers locaux à chauffer.

Ces calorifères présentent un grand nombre d'avantages. D'abord leur rayon d'action peut être très étendu ; ensuite la vapeur en se condensant abandonne une très grande quantité de chaleur ; enfin cette chaleur peut être transportée à des distances considérables sans perte exagérée de calorique.





TABLE DES MATIÈRES

Applications médicales de la chaleur.

